TR 25 a

Technisch Rapport
Steenzettingen
TOETSING



TAW
Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen

Technisch Rapport

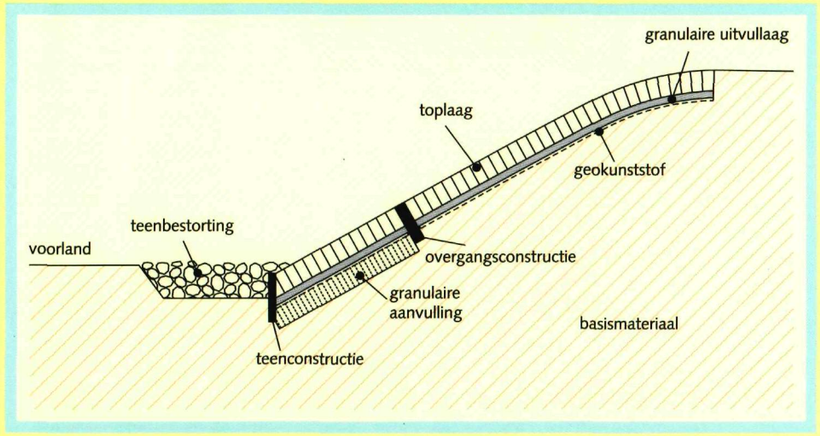
Steenzettingen

TOETSING

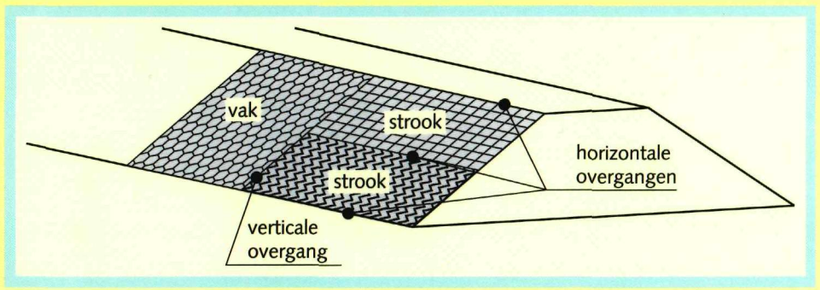
voor het ontwerpen van steenzettingen, zie het deel ONTWERP

voor achtergrondinformatie en onderbouwing, zie het deel ACHTERGRONDEN

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.

Voorwoord

Als opvolger van de *Leidraad Cementbetonnen Dijkbekledingen* (1984) verscheen in 1992 het *Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen*. 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 taludbekledingen* en verwacht dat het ruimschoots aan de behoefte van de gebruikers zal voldoen.

ir. W. van der Kleij
Voorzitter TAW

TECHNISCH RAPPORT STEENZETTINGEN
DEEL TOETSING
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** *(zie blz. 210)*
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

Inhoud

Voorwoord . . . 5
Inhoud . . . 7
Inleiding deel Toetsing . . . 15
I.1 KADER TECHNISCH RAPPORT STEENZETTINGEN . . . 15
I.2 HET DEEL TOETSING: DOEL, GEBRUIKERS EN OPBOUW . . . 16
I.3 RELATIE MET VOORSCHRIFT TOETSEN OP VEILIGHEID (VTV) . . . 17
I.4 STEENZETTINGEN WAARVOOR HET DEEL TOETSING TOEPASBAAR IS . . . 21

SECTIE I Basisinformatie over steenzettingen . . . 23

1 Constructieonderdelen steenzetting . . . 25
1.1 BEKLEDINGSSYSTEEM . . . 25
1.1.1 Toplaag van standaardelementen . . . 26
1.1.2 Aanverwante bekledingstypen . . . 31
1.1.3 Granulaire voegvulling . . . 35
1.1.4 Inzanding en inslibbing . . . 36
1.1.5 Granulaire laag . . . 37
1.1.6 Geokunststof . . . 37
1.1.7 Vlijlaag . . . 37
1.1.8 Basismateriaal/ondergrond . . . 37
1.2 OVERIGE CONSTRUCTIEONDERDELEN . . . 38
1.2.1 Teenbestorting . . . 38
1.2.2 Teenconstructies . . . 38
1.2.3 Overgangsconstructies . . . 38
1.2.4 Aansluitingsconstructies . . . 39
1.2.5 Berm, bovenbeloop, kruin, binnentalud, overlaten en kribben . . . 39

2 Faalmechanismen steenzetting . . . 41
2.1 FALEN BEKLEDING VERSUS FALEN WATERKERING . . . 41
2.2 FALEN STEENZETTING DOOR TOPLAAGINSTABILITEIT . . . 41
2.2.1 Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking . . . 42
2.2.2 Toplaaginstabiliteit door golfklap . . . 44
2.2.3 Toplaaginstabiliteit door langsstroming . . . 45
2.2.4 Toplaaginstabiliteit door golfoploop . . . 45
2.2.5 Falen van steenzetting op een berm . . . 46
2.3 FALEN STEENZETTING DOOR AFSCHUIVING . . . 47
2.4 FALEN STEENZETTING DOOR MATERIAALTRANSPORT . . . 49
2.4.1 Materiaaltransport vanuit ondergrond naar granulaire laag . . . 49
2.4.2 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag . . . 51
2.5 FAALMECHANISMEN VAN AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN . . . 52
2.5.1 Falen van geschakelde steenzettingen . . . 52
2.5.2 Falen van doorgroeistenen . . . 52
2.5.3 Falen van Noorse stenen . . . 52
2.5.4 Falen van gepenetreerde steenzettingen . . . 53
2.5.5 Falen van breuksteenoverlagingen . . . 53
2.6 FALEN DOOR NIET-HYDRAULISCHE BESCHADIGING . . . 55

2.7 EROSIE VAN DE ONDERLAGEN ('RESTSTERKTE') . . . 55
2.8 FALEN DOOR OF VAN TEEN-, OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES . . . 57
2.8.1 Falen door teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie . . . 57
2.8.2 Falen van teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie . . . 58

SECTIE II Toetsingsproces . . . 59

3 Voorbereiding toetsing . . . 61
3.1 TWEE WERKWIJZEN: LINEAIR EN ITERATIEF . . . 61
3.2 VERZAMELEN VAN GEGEVENS . . . 63
3.3 VASTSTELLEN VAKINDELING . . . 64
3.3.1 Toetsvakindeling op basis van beschikbare gegevens . . . 64
3.3.2 Globale toetsvakindeling . . . 65
3.3.3 Detaillering toetsvakindeling . . . 66

4 Toetsing van steenzettingen . . . 69
4.1 STROOMSCHEMA'S TOETSING STEENZETTINGEN . . . 69
4.2 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL ZTG . . . 71
4.2.1 Zone-indeling talud . . . 71
4.2.2 Zone A1: Buitentalud onder Toetspeil zonder berminvloed . . . 72
4.2.3 Zone B1: Buitentalud boven Toetspeil zonder berminvloed . . . 78
4.2.4 Zone Berm . . . 79
4.2.5 Zones met berminvloed . . . 80
4.2.6 Zone B4: Kruin en binnentalud . . . 82
4.3 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER LANGSSTROMING ZTS . . . 84
4.4 AFSCHUIVING ZAF . . . 86
4.5 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND ZMO . . . 89
4.6 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE GRANULAIRE LAAG ZMG . . . 96
4.7 EROSIE VAN DE ONDERLAGEN ZEO ('RESTSTERKTE') . . . 97

5 Toetsing van aanverwante bekledingstypen . . . 103
5.1 GESCHAKELDE STEENZETTINGEN . . . 103
5.2 DOORGROEISTENEN . . . 107
5.3 NOORSE STENEN . . . 109
5.4 GEPENETREERDE STEENZETTINGEN . . . 113
5.4.1 Oplichten van de toplaag . . . 113
5.4.2 Toplaaginstabiliteit voor gepenetreerde steenzetting . . . 113
5.5 BREUKSTEENOVERLAGING . . . 115
5.6 STEENZETTINGEN MET AFSTANDHOUDERS . . . 117
5.7 STEENZETTINGEN MET RUWHEIDSELEMENTEN . . . 118

6 Toetsing van teen, overgangs- en aansluitingsconstructies . . . 121
6.1 INVLOED OVERGANG OP TOPLAAGINSTABILITEIT ZOI . . . 121
6.2 BEZWIJKEN VAN DE OVERGANGS-, TEEN- OF AANSLUITINGSCONSTRUCTIE ZOB . . . 124

7 Omgaan met toetsingsresultaten . . . 127

7.1 BEHEERDERSOORDEEL . . . 127

7.2 VASTSTELLING VAN HET EINDRESULTAAT . . . 127

7.3 MAATREGELEN OP GROND VAN DE TOETSRESULTATEN . . . 129

7.4 RAPPORTAGE . . . 131

SECTIE III Voorbeelden . . . 133

8 Steenzetting in getijdegebied . . . 135

8.1 PROJECTOMSCHRIJVING . . . 135

8.2 VOORBEREIDING . . . 136
8.2.1 Gegevens verzamelen . . . 136
8.2.2 Vaststellen vakindeling . . . 138

8.3 TOETSING . . . 138
8.3.1 Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG) . . . 138
8.3.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS) . . . 142
8.3.3 Afschuiving (ZAF) . . . 143
8.3.4 Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO) . . . 145
8.3.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) . . . 147
8.3.6 Resultaten . . . 148

8.4 OMGAAN MET DE RESULTATEN . . . 149

9 Steenzetting op een meerdijk . . . 151

9.1 PROJECTOMSCHRIJVING . . . 151

9.2 VOORBEREIDING . . . 152
9.2.1 Gegevens verzamelen . . . 152
9.2.2 Vaststellen vakindeling . . . 154

9.3 TOETSING . . . 154
9.3.1 Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG) . . . 154
9.3.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS) . . . 157
9.3.3 Afschuiving (ZAF) . . . 157
9.3.4 Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO) . . . 159
9.3.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) . . . 161
9.3.6 Resultaten . . . 163

9.4 OMGAAN MET DE RESULTATEN . . . 163

Bijlage A Parameters voor toetsing steenzettingen . . . 167

A.1 HYDRAULISCHE BELASTING . . . 167
A.1.1 Golfhoogte . . . 169
A.1.2 Golfperiode . . . 170
A.1.3 Golflengte . . . 170
A.1.4 Golfinvalshoek . . . 171
A.1.5 Toetspeil . . . 171
A.1.6 Gemiddelde Hoogwaterstand (GHW)/Meerpeil (MP) . . . 171
A.1.7 Maatgevende waterstand per toetsvak . . . 172
A.1.8 Maatgevende belastingduur . . . 173

A.1.9 Stromingsbelasting . . . 174
A.1.10 Dichtheid water . . . 174
A.1.11 Brekerparameter . . . 175
A.1.12 Golfoploopniveau . . . 175
A.2 ALGEMENE GEGEVENS OVER DE CONSTRUCTIE . . . 175
A.2.1 Taludhelling . . . 175
A.2.2 Voorlandhoogte . . . 176
A.3 TOPLAAG STEENZETTINGEN . . . 177
A.3.1 Toplaagdikte (=toplaagelementhoogte) . . . 177
A.3.2 Dichtheid toplaagelementen . . . 178
A.3.3 Open ruimte tussen toplaagelementen . . . 180
A.3.4 Inwassing en stopwerk . . . 181
A.3.5 Inklemming . . . 182
A.3.6 Inzanding/inslibbing van de toplaag . . . 182
A.3.7 Ingieting van de toplaag . . . 183
A.3.8 Klemfactor toplaagelementen . . . 184
A.4 GRANULAIRE LAAG STEENZETTINGEN . . . 184
A.4.1 Dikte granulaire laag . . . 184
A.4.2 Korrelgrootteverdeling granulaire laag . . . 185
A.4.3 Porositeit granulaire laag . . . 186
A.4.4 Inzanding/inslibbing van de granulaire laag . . . 186
A.5 GEOKUNSTSTOF . . . 187
A.6 VLIJLAAG . . . 188
A.7 BASISMATERIAAL STEENZETTINGEN . . . 188
A.7.1 Dikte cohesieve laag . . . 188
A.7.2 Korrelgrootteverdeling cohesieve laag . . . 188
A.7.3 Erosiebestendigheid van de klei . . . 189
A.7.4 Korrelgrootteverdeling zandkern . . . 189
A.8 NOORSE STENEN EN BREUKSTEENOVERLAGING . . . 190
A.8.1 Steendiameter . . . 190
A.8.2 Permeabiliteit . . . 191

Bijlage B Het gebruik van ANAMOS . . . 193
B.1 OPZET EN HUIDIGE TOEPASSING ANAMOS . . . 193
B.2 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL . . . 193
B.3 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND . . . 193
B.4 INVOER VAN ANAMOS . . . 194

Bijlage C Rekenprocedure steenzetting op/boven berm . . . 197
Symbolen . . . 201
Begrippen . . . 203
Samenstelling expertisegroep en gebruikersgroep steenzettingen . . . 210
Register . . . 211
Bibliografie . . . 215

Figuren

Figuren in de hoofdtekst

i.1 Beoordelingstraject (figuur 2-2.1 van VTV02[lit.10]) 18
i.2 Schematische weergave beoordelingsniveaus (figuur K8-2.2.4.2 van LTV99[lit.3]) 19
1.1 Vier typen filters 26
1.2 Twee maatregelen ter vergroting van de open ruimte 30
1.3 Twee manieren van plaatsing op de granulaire laag 31
1.4 Definities gepenetreerde toplaag 34
1.5 Overlaging met losse breuksteen 35
2.1 Krachten op toplaagelement die van belang zijn voor toplaaginstabiliteit 42
2.2 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit 42
2.3 Parameters toplaag-instabiliteit bij maximale golfterugtrekking 43
2.4 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit door golfklap 44
2.5 Parameters langsstroming 45
2.6 Aanvullende parameters steenzetting op berm 46
2.7 Krachtenevenwicht afschuiving 47
2.8 Diepe kleinschalige afschuiving 48
2.9 Parameters afschuiving 48
2.10 Uitspoeling van materiaal uit de onderlaag 49
2.11 Schadeverloop bij het faalmechanisme materiaaltransport 50
2.12 Parameters materiaal-transport ondergrond naar granulaire laag 50
2.13 Schadeverloop bij faalmechanisme materiaaltransport vanuit de granulaire laag 51
2.14 Parameters materiaaltransport granulaire laag naar toplaag 52
2.15 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit overlaging met losse breuksteen 54
2.16 Parameters breuksteenoverlaging 54
2.17 Faalmechanisme erosie van de onderlagen 56
2.18 Ongunstige invloed van overgangsconstructies 57
2.19 Parameters invloed overgangsconstructies 58
2.20 Faalmechanisme falen teenconstructie 58
4.1 Stroomschema voor de toetsing van steenzettingen onder toetspeil 70
4.2 Stroomschema voor de toetsing van steenzettingen boven toetspeil 70
4.3 Zone-indeling voor toetsing op toplaaginstabiliteit 71
4.4 De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: A1 72
4.5 Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit onder golfbelasting 72
4.6 Toetsregels eenvoudige toetsing type 1 75
4.7 Toetsregels eenvoudige toetsing type 2 75
4.8 Toetsregels eenvoudige toetsing type 3a 76
4.9 Toetsregels eenvoudige toetsing type 3b 76
4.10 Toetsregels eenvoudige toetsing type 3c 77
4.11 De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: B1 78
4.12 De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: berm 79
4.13 De zones die in deze paragraaf worden behandeld: A2, B2 en B3 80
4.14 De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: B4 82
4.15 Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit kruin en binnentalud 83
4.16 Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit onder langsstroming 84
4.17 Eenvoudige toetsing op langsstroming 85
4.18 Beoordelingsschema afschuiving 86
4.19 Aangevulde kleidijk 87
4.20 Rekenregel gedetailleerde toetsing op afschuiving 88
4.21 Beoordelingsschema materiaaltransport vanuit de ondergrond 89
4.22 Eenvoudige toetsing granulair filter op zand of klei 93
4.23 Beoordelingsschema materiaaltransport vanuit de granulaire laag 96

4.24 Beoordelingsschema erosie van de onderlagen 99
5.1 Eenvoudige toetsing type 4 105
5.2 Eenvoudige toetsing type 5 105
5.3 Eenvoudige toetsing type 6a 106
5.4 Eenvoudige toetsing type 6b 106
5.5 Eenvoudige toetsing type 6c 107
5.6 Beoordelingsschema doorgroeistenen 108
5.7 Beoordelingsschema Noorse stenen op toplaaginstabiliteit 110
5.8 Eenvoudige toetsing Noorse stenen als steenzetting 112
5.9 Beoordelingsschema overlaging met losse breuksteen 115
5.10 Bepaling correctiefactor Y 116
5.11 Breuksteenreserve bij overlaging met losse breuksteen (stap 2.2) 117
5.12 Definitie breedte en dikte bij ruwheidselementen 119
6.1 Beoordelingsschema invloed overgang op toplaaginstabiliteit ZOI 122
6.2 Beoordelingsschema bezwijken van overgangs-, teen-, of aansluitingsconstructies ZOB 124
7.1 Beoordelingswijze (Figuur 2-6.1 van VTV02) 128

Figuren in de voorbeelden zeedijk en meerdijk
8.1 Overzicht projectgebied 135
8.2 Procentuele verdeling toplaagtypen 136
8.3 Toetsresultaten uitgesplitst per dijkvak 150
9.1 Overzicht projectgebied 151
9.2 Voorbeeld van een gegevensinwinformulier voor niveau 3 152
9.3 Toetsresultaten uitgesplitst per dijkvak 164

Figuren in de bijlagen
A.1 Bepaling maatgevende waterstand 172
A.2 Definitie maatgevende belastingduur (Figuur 8-2.2 van VTV02) 173
A.3 Definitie toplaagdikte/toplaagelementhoogte (zijaanzicht toplaagelement) 177
C.1 Definitie waterdiepte dB voor bepaling bermfactor 198
C.2 Bermfactor voor taludhelling onder de berm 1:4 199
C.3 Bermfactor voor taludhelling onder de berm 1:3 200

Foto's

1.1 Betonblokken (type Haringman) 27
1.2 Betonzuilen (type PIT-polygoon) 27
1.3 Granietblokken (Pools graniet) 27
1.4 Doornikse steen 27
1.5 Petit graniet 27
1.6 Basaltzuilen 27
1.7 Vilvoordse steen 28
1.8 Lessinese steen 28
1.9 Koperslakblokken 28
1.10 Gebakken blokken 28
1.11 Vier typen betonzuilen 29
1.12 Betonzuilen met ecotop 29
1.13 Gekantelde betonblokken 30
1.14 Toplaag natuursteen vlakke onderkant en vlakke bovenkant 31
1.15 Blokkenmatten 32
1.16 Diaboolblokken 32
1.17 Leendertse blokken 32
1.18 Doorgroeistenen 33
1.19 Noorse stenen 34

Kaders

Kader in de inleiding
i.1 Opbouw van dit deel toetsing 17

Kaders in de hoofdtekst
1.1 Primaire faalmechanismen 28
3.1 Vier stappen in het toetsingsproces 60
3.2 Relatie met het VTV (de LTV) 64
3.3 Het nut van verdere detaillering 66
4.1 Ligging van de taludzones 71
4.2 Toetsing op gedrag ten aanzien van topinstabiliteit 73
4.3 Invloed ingezande/ingeslibde granulaire laag 74
4.4 Definitie van bermen 80
4.5 Toetsing van een steenzetting in zone A2 alsof deze op de bijbehorende berm ligt 81
4.6 Toetsing van een steenzetting in zone B2 alsof deze op de bijbehorende berm ligt 81
4.7 Toetsing van een steenzetting in zone B3 alsof deze op de bijbehorende berm ligt 82
4.8 Eenvoudige toetsing hydraulisch dichtheid 91-92
4.9 Gedetailleerde toetsing hydraulisch dichtheid 93-95
5.1 Criteria voor de onderverdeling van type 6: geschakelde steenzetting op granulaire laag 104

Tabellen

Tabellen in de inleiding
i.1 Plaats van steenzettingen in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 20
i.2 Relatie tussen dit Technisch Rapport Steenzettingen en het VTV 21

Tabellen in de hoofdtekst
1.1 Typen standaard toplaagelementen 26
4.1 Gedetailleerde bepaling reststerkte kleilaag trk 101

Tabellen in het voorbeeld zeedijk
8.1 Verzamelde gegevens 137
8.2 Karakteristieken geavanceerde toetsing 137
8.3 Parameters van de drie bekledingsvakken 139

Tabellen in het voorbeeld meerdijk
9.1 Verzamelde gegevens 153
9.2 De parameters van het in dit voorbeeld nader uit te werken bekledingsvak 155

Tabellen in de bijlagen
A.1 Toepassing van variabelen van scheepsgeïnduceerde golven voor rekenregels 169
A.2 Standaardwaarden dichtheid toplaagelementen 179
A.3 Standaardwaarden open ruimte tussen toplaagelementen 180
A.4 Standaardwaarden porositeit van de granulaire laag 186

Inleiding deel Toetsing

Het *Technisch Rapport Steenzettingen* bestaat uit drie delen: Ontwerp, Toetsing en Achtergronden. In deze inleiding wordt beschreven in welk kader dit rapport moet worden geplaatst. Vervolgens wordt de opbouw van dit tweede deel – Toetsing – besproken en komt aan de orde wat het doel is van dit deel, wie de beoogde gebruikers zijn en wat de relatie is met het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* (VTV02). Tenslotte wordt aangegeven welke bekledingstypen (steenzettingen en aanverwante typen) wel en welke niet in dit deel Toetsing 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 op basis van 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 de 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. Dit onderzoek heeft, in combinatie met een landelijke globale inventarisatie, onder andere geleid tot het inzicht dat veel van de bestaande steenzettingen niet voldoen aan de veiligheidseisen volgens de Wet op de waterkering. In 1997 is in Zeeland een start gemaakt 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 naar steenzettingen 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 werd het belangrijk gevonden de kennis die is ontwikkeld bij Project Zeeweringen in Zeeland en bij het Project Landelijke Inventarisatie Steenzettingen, landelijk beschikbaar te maken. Verder werd steeds meer duidelijk dat er behoefte bestond aan een praktisch en gebruikersgericht handboek, dat aansluit bij de huidige (geautomatiseerde) ontwerp- en toetsgereedschappen. Dit alles heeft geleid tot een nieuw handboek. In aansluiting op andere TAW-publicaties wordt dit nieuwe handboek het *Technisch Rapport Steenzettingen* genoemd. 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 Ontwerp en Toetsing.

Relatie Technisch Rapport Steenzettingen met andere publicaties

Het Technisch Rapport vervangt het handboek uit 1992. In verschillende publicaties, zoals de Leidraad Zee- en Meerdijken (LZM) [lit.2] en de *Leidraad Toetsen op Veiligheid* (LTV) [lit.3] uit 1999, wordt voor de uitwerking van steenzettingen verwezen naar het bestaande handboek. 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) [lit.10] – wordt dan ook steeds verwezen naar dit Technisch Rapport.

Het deel Toetsing van het Technisch Rapport bevat alle informatie over de toetsing van steenzettingen die ook in het VTV staat. De toetsing van steenzettingen kan dus zowel met het Technisch Rapport als met het VTV worden uitgevoerd. Voor algemene informatie over de toetsing wordt in dit Technisch Rapport wel verwezen naar het VTV. Aan de andere kant geeft dit Technisch Rapport veel meer achtergronden en informatie dan in het VTV mogelijk is. In principe wordt voor elke nieuwe toetsingsronde een nieuw *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* uitgebracht. Het deel Toetsing is afgestemd op het VTV van 2002 en geldt voor de toetsingsronde tot 2005; het deel Toetsing is daardoor in principe even lang van kracht als het VTV02.

Het 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 als bekleding. In het deel Ontwerp van dit Technisch Rapport wordt ervan uitgegaan dat een steenzetting in aanmerking komt voor een ontwerp.

I.2 HET DEEL TOETSING: DOEL, GEBRUIKERS EN OPBOUW

Doel

Het deel Toetsing is het tweede deel van het *Technisch Rapport Steenzettingen*. 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 is zo opgesteld dat gebruikers snel het antwoord op hun vragen kunnen vinden.

Gebruikers

De belanghebbende bij het toetsen van steenzettingen is normaal gesproken een beheerder van waterkeringen of oevers met steenzettingen. In de Nederlandse situatie zijn dat waterschappen of regionale directies en dienstkringen van Rijkswaterstaat. Soms is de belanghebbende een controlerende instantie of Rijkswaterstaat. De toetsing van steenzettingen zal worden uitgevoerd door medewerkers van één van deze instanties, of door medewerkers van ingenieursbureaus of van diensten van Rijkswaterstaat. Zij zijn de beoogde gebruikers van dit deel Toetsing. De tekst is daarom gericht op de gebruiker met een opleiding op het niveau van h.b.o. of w.o., die minimaal enkele jaren algemene waterbouwkundige ervaring heeft en die beschikt over basiskennis van de principes van waterkeringen, ontwerpen en toetsen.

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

OPBOUW VAN DIT DEEL TOETSING

Het deel Toetsing bestaat uit drie secties:

Sectie I Basisinformatie voor de toetsing van steenzettingen
Deze sectie bevat de informatie die een gebruiker nodig heeft voordat hij kan beginnen aan het toetsingsproces, i.e. de algemene opbouw en de faalmechanismen van een steenzetting.

Sectie II Toetsingsproces
In sectie II – de kern van dit deel – wordt het toetsingsproces stapsgewijs doorlopen. In grote lijnen worden de volgende stappen onderscheiden:
- Voorbereiding;
- Toetsing;
- Omgaan met toetsingsresultaten.

Sectie III Voorbeelden
In sectie III worden twee voorbeelden uitgewerkt waarin een steenzetting is getoetst volgens het proces uit sectie II.
Verder is dit deel Toetsing voorzien van een linkeruitvouw (voorin) en een rechteruitvouw (achterin). De linkeruitvouw – waarop te zien is hoe een steenzetting meestal wordt opgebouwd – biedt vooral ondersteuning bij sectie I. De uitvouw rechts geeft een schematisch overzicht van het toetsingsproces, en biedt vooral ondersteuning bij sectie II.

Kader i.1

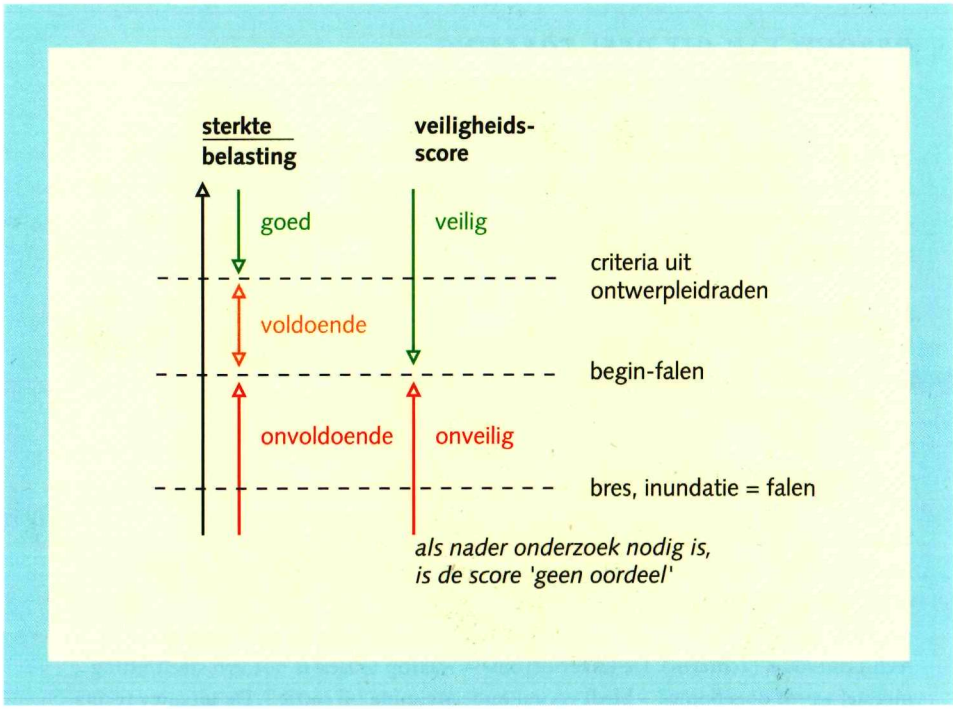
I.3 RELATIE MET VOORSCHRIFT TOETSEN OP VEILIGHEID (VTV)

Het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* (VTV) bevat de regels waarmee de toetsing op veiligheid voor alle faalmechanismen kan worden uitgevoerd. Ook de toetsing van steenzettingen wordt behandeld in het VTV, maar niet op dezelfde manier als in dit deel Toetsing: er zijn verschillen in reikwijdte en diepgang. In deze paragraaf wordt beschreven wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen deel Toetsing en de behandeling van steenzettingen in het VTV.

Toetsing op veiligheid

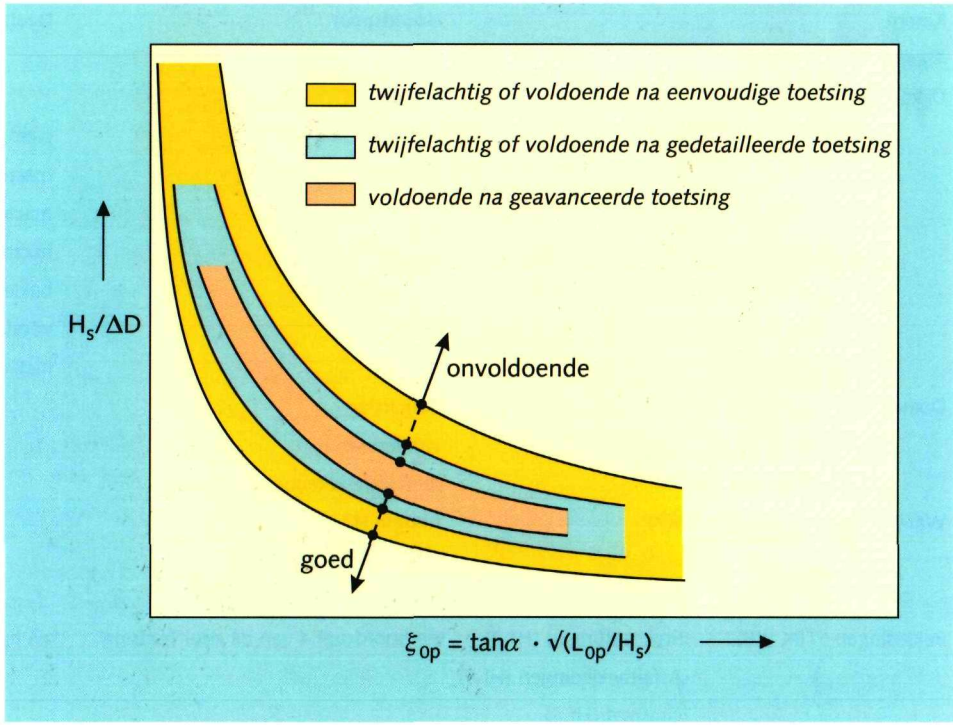
Op grond van de Wet op de waterkering moeten beheerders iedere vijf jaar de waterkeringen toetsen op veiligheid. Het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* vormt samen met Hydraulische Randvoorwaarden 2001 (HR2001) [lit.5] het instrumentarium voor deze toetsing en biedt landelijk uniforme rekenregels. Hiermee kunnen alle typen waterkeringen op alle relevant geachte faalmechanismen worden getoetst op veiligheid. De rekenregels zijn vastgelegd in beoordelingsschema's; het doorlopen van deze schema's leidt tot een score 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende'. Bij een score 'goed' wordt voldaan aan de ontwerpnormen, bij een score 'voldoende' is de veiligheid niet in gevaar maar zijn maatregelen uit het oogpunt van beheer gewenst, en bij een score 'onvoldoende' voldoet de waterkering niet aan de wettelijke veiligheidseisen. De scores 'goed' en 'voldoende' worden ook wel samengevoegd tot 'voldoet aan de norm', terwijl 'onvoldoende' overeen komt met 'voldoet niet aan de norm'. Zie figuur i.1.

De Helpdesk Waterkeren van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat biedt ondersteuning bij de toetsing.



Figuur i.1
Beoordelingstraject
(figuur 2-2.1 van VTV02 [lit.10])

De beoordelingsschema's zijn, voor zover mogelijk, opgezet in verschillende niveaus die toenemen in moeilijkheidsgraad en gegevensbehoefte. Ter oriëntatie voor de toetsers worden de niveaus ingedeeld in eenvoudig, gedetailleerd en geavanceerd. In de eenvoudige toetsing worden situaties die zeker aan de norm voldoen ('goed' of 'voldoende') en zeker niet aan de norm voldoen ('onvoldoende') uitgezeefd met eenvoudige rekenmethodes en relatief weinig gegevens. Situaties waarvoor in de eenvoudige toetsing geen oordeel wordt bereikt, krijgen een tussenscore 'twijfelachtig' en moeten worden getoetst met de gedetailleerde methode. Hierbij worden uitgebreidere rekenmethodes gebruikt, waarvoor meer gegevens nodig zijn. Ook in de gedetailleerde toetsing is een tussenscore 'twijfelachtig' mogelijk, waarna geavanceerde toetsing volgt. Hiervoor zijn vaak zeer lokale gegevens nodig, in combinatie met specialistische expertise. Uit de geavanceerde toetsing moet een eindscore 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' volgen, zie figuur i.2.



Figuur i.2 Schematische weergave beoordelingsniveaus (figuur K8-2.2.4.2 van LTV99 [lit.3])

Toetsing van steenzettingen in het VTV

De indeling van het VTV02 is schematisch weergegeven in tabel i.1. Het VTV bestaat uit 13 katernen. In de eerste 4 katernen staat algemene informatie over de toetsing op veiligheid. Hierin wordt onder meer aandacht besteed aan de stappen in het toetsingsproces die voorafgaan aan het doorlopen van de beoordelingsschema's (gegevensverzameling, vaststelling van de vakindeling) en de stappen erna (vaststelling beheerdersoordeel, rapportage, uitwerking van maatregelen). Deze aanvullende stappen worden in het VTV (noodzakelijkerwijs) behandeld op een globaal niveau, geldig voor alle typen waterkeringen en faalmechanismen.

Katern 5 gaat over de toetsing van dijken en dammen. Eén van de hoofdsporen voor de toetsing is de stabiliteit, en de stabiliteit van de bekledingen is één van de deelsporen. Voor dat deelspoor wordt in Katern 5 verwezen naar Katern 8, Bekledingen.

Hoofdstuk 2 van Katern 8 is gewijd aan de toetsing van steenzettingen. Voor de faalmechanismen toplaaginstabiliteit onder golfaanval, toplaaginstabiliteit onder stroming, afschuiving, materiaaltransport vanuit de ondergrond, materiaaltransport vanuit de granulaire laag en erosie van de onderlagen (reststerkte) worden beoordelingsschema's gegeven. In het VTV worden de toetsregels tot en met de eenvoudige toetsing volledig behandeld. Boven dat niveau, vanaf gedetailleerde toetsing, wordt verwezen naar dit deel Toetsing en naar specialistische inbreng. De toetsing van overgangsconstructies en teenconstructies, die een belangrijk onderdeel vormen van de bekledingsconstructie, wordt behandeld in de laatste paragraaf van het hoofdstuk Steenzettingen in Katern 8.

Katern		Hoofdspoor	Deelspoor
Algemene katernen (K1-4)			
Dijken en dammen (K5)		hoogte HT	
		stabiliteit ST	piping en heave STPH
			macrostabiliteit binnenwaartsSTBI
			macrostabiliteit buitenwaartsSTBU
			microstabiliteit STMI
			bekledingen STBK (K8)
			voorland STVL (K9)
			niet-waterkerende objecten NWO (K10)
Duinen (K6)		duinafslag	
		winderosie	
		niet-waterkerende objecten	
Waterkerende kunstwerken (K7)		hoogte HT	
		stabiliteit en sterkte ST	
		betrouwbaarheid sluiting BS	
Bekledingen STBK (K8)	Steenzettingen (Hf.2)	zie hoofdstuk 4 van dit deel Toetsing	zie hoofdstuk 4 van dit deel Toetsing
	Asfaltbekledingen (Hf.3)		
	Grasmat (Hf.4)		
Voorland STVL (K9)		afschuiving AF	
		zettingsvloeiing ZV	
Niet-waterkerende objecten NWO (K10)	Bomen		
	Bebouwing		
	etc.		
Afsluitende katernen (K11-13)			

Tabel i.1
Plaats van steenzettingen in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid

Relatie tussen het VTV en dit deel Toetsing van het TRS

Er is een zekere overlap met het VTV: alle specifieke informatie over steenzettingen in het VTV, staat ook in deel Toetsing. De gedetailleerde toetsregels worden in deel Toetsing volledig behandeld. Voor geavanceerde toetsing bevat ook deel Toetsing een verwijzing, namelijk naar deel Achtergronden van het *Technisch Rapport Steenzettingen*. De stappen in het toetsingsproces buiten de beoordelingsschema's worden in het VTV globaal beschreven, maar worden in deel Toetsing zoveel mogelijk geconcretiseerd voor de toetsing van steenzettingen. Algemene informatie over de toetsing staat juist niet in deel Toetsing; die wordt bekend verondersteld, met verwijzing naar het VTV. Een ander verschil betreft de zogenoemde aanverwante bekledingstypen: in het VTV wordt daarvoor verwezen naar dit Technisch Rapport; in dit deel Toetsing worden ook voor aanverwante bekledingstypen de toetsregels tot en met gedetailleerd niveau besproken.

Dit deel Toetsing van het Technisch Rapport Steenzettingen is zodanig opgezet dat de gebruiker de volledige toetsing van steenzettingen ermee kan uitvoeren, inclusief teen- en overgangsconstructies.

In tabel i.2 staat op welke manier de relevante onderdelen van de toetsing worden behandeld in het VTV en in de delen Toetsing en Achtergronden. De termen 'globaal' en 'gericht' geven aan dat in het VTV bepaalde onderwerpen voor toetsing in het algemeen worden behandeld, terwijl behandeling in het Technisch Rapport specifiek is gericht op steenzettingen. In de tabel is in grote lijnen de volgorde van het toetsingsproces aangehouden. Met drie tinten bruin is aangegeven in welke mate elk onderwerp in het betreffende document wordt behandeld: hoe donkerder hoe uitgebreider.

Onderwerp \ Document	VTV	TRS deel Toetsing	TRS deel Achtergronden
Algemene info over toetsing	volledig	verwijzing naar VTV	
Toetsing stabiliteit van dijken	volledig	verwijzing naar VTV	
Gegevensverzameling	globaal	gericht	
Vakindeling	globaal	gericht	
Algemeen beoordelingsschema	volledig	volledig	
Eenvoudige toetsing	volledig	volledig	achtergronden
Gedetailleerde toetsing	verwijzing naar TRS	volledig	achtergronden
Geavanceerde toetsing	verwijzing naar TRS	verwijzing naar TRS deel Achtergronden	volledig
Aanverwante bekledingstypen	verwijzing naar TRS	volledig	geavanceerde toetsing
Beheerdersoordeel	globaal	gericht	
Maatregelen	globaal	gericht	
Rapportage	globaal	gericht	

Tabel i.2
Relatie tussen dit Technisch Rapport Steenzettingen en het VTV

I.4 STEENZETTINGEN WAARVOOR HET DEEL TOETSING TOEPASBAAR IS

De toetsing op veiligheid volgens de Wet op de waterkering is op dit moment alleen vereist voor primaire waterkeringen. Dit deel Toetsing is daarom in eerste instantie alleen gericht op deze waterkeringen (net als het VTV).
Omdat de aandacht in het onderzoek en in de ontwerp- en toetspraktijk vooral gericht is op steenzettingen die buitentaluds en – bermen bekleden van zee – en meerdijken, is de tekst van deel Toetsing vooral gericht op dit toepassingsgebied. Voor zover nodig wordt daarnaast summier aandacht besteed aan de andere toepassingsgebieden in relatie tot primaire waterkeringen: steenzettingen op rivierdijken en havendammen (in het algemeen), en steenzettingen op kruinen van dijken en dammen.

Alle steenzettingen die voorkomen op primaire waterkeringen moeten worden getoetst en worden daarom ook in deel Toetsing behandeld. De meeste steenzettingen hebben een toplaag van niet onderling verbonden blok- of zuilvormige elementen die bestaan uit beton, natuursteen of restmateriaal. Deze toplaagelementen komen voor op verschillende soorten onderlagen.

Daarnaast wordt aandacht besteed aan een aantal aanverwante bekledingstypen: bijzondere soorten steenzettingen of bekledingen die voor een deel uit een steenzetting bestaan: geschakelde steenzettingen (blokkenmatten en interlockstenen), doorgroeistenen, Noorse stenen, gepenetreerde steenzettingen, breuksteenoverlagingen en steenzettingen met ruwheidselementen.

SECTIE I Basisinformatie over steenzettingen

1 CONSTRUCTIEONDERDELEN STEENZETTING

2 FAALMECHANISMEN STEENZETTING

1 Constructieonderdelen steenzetting

In dit hoofdstuk wordt besproken uit welke onderdelen een steenzetting kan bestaan. Uiteraard wordt hierbij uitgegaan van de steenzettingen die voorkomen op primaire waterkeringen en die dus moeten worden getoetst. Dit deel Toetsing is in eerste instantie gericht op bekledingen van een door golven belast talud. Het is echter ook bruikbaar voor bermen of voor taluds die door langsstroming of golfoploop worden belast. Een overzicht van de opbouw van een bekledingssysteem staat op het linkeruitvouwblad.

Dit hoofdstuk geeft basisinformatie over steenzettingen en behandelt niet de toetsing. Voor zover relevant wordt verwezen naar de paragrafen in volgende hoofdstukken waar dit wél gebeurt.

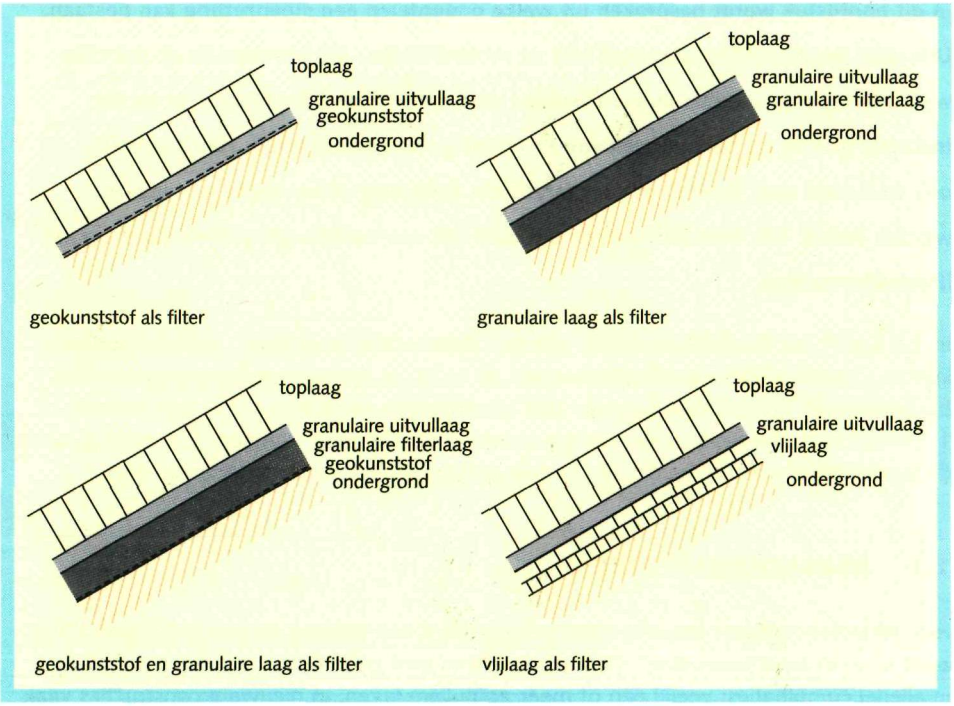
In 1.1 wordt het bekledingssysteem van een steenzetting besproken. Achtereenvolgens komen de onderdelen van dit systeem aan de orde: de toplaag, de tussenlagen en het basismateriaal. Bij de toplaag komen ook aanverwante bekledingstypen aan de orde. In 1.2 wordt kort ingegaan op de overige constructieonderdelen van een steenzetting, zoals de teenbestorting en de teen-, horizontale overgangs- en aansluitingsconstructies.

1.1 BEKLEDINGSSYSTEEM

Het bekledingssysteem van elke steenzetting bevat een toplaag en een ondergrond (klei, zand of granulaire aanvulling). Daartussen zijn in veel gevallen andere lagen aanwezig, in allerlei combinaties: veelal één of meer granulaire lagen, in nieuwere constructies vaak een geokunststof, in oude constructies vaak één of meer vlijlagen. Deze lagen hebben een beoogde functie in de uitvoering, als filter of als aanvulling. In de toetsingspraktijk komen de volgende bekledingssystemen voor:

Toplaag	–	ondergrond				
Toplaag	–	geokunststof	–	ondergrond		
Toplaag	–	granulaire laag/lagen	–	ondergrond		
Toplaag	–	granulaire laag/lagen	–	geokunststof	–	ondergrond
Toplaag	–	granulaire laag/lagen	–	vlijlaag/-lagen	–	ondergrond

Een aantal voorbeelden staan in figuur 1.1.



Figuur 1.1
Vier typen filters

1.1.1 Toplaag van standaardelementen

De toplaag van een steenzetting bestaat uit bekledingselementen die kunnen worden onderverdeeld in twee groepen: standaardelementen en aanverwante bekledingstypen. De eerste groep wordt hier besproken en de laatste in 1.1.2.

De meest gebruikelijke toplaag van een steenzetting bestaat uit niet-onderling verbonden, in verband gezette massieve elementen. Deze groep toplaagtypen wordt in dit technisch rapport aangeduid met de term 'standaardelementen'. Normaliter worden deze toplaagtypen toegepast in de golfklapzone van zee- en meerdijken, en vaak ook op minder zwaar belaste taluds (rivierdijken, golfoploopzone).

De toetsing van deze toplaagtypen wordt behandeld in hoofdstuk 4, de bijbehorende parameters in bijlage A.

Een belangrijk kenmerk van deze typen is dat de elementen niet onderling verbonden zijn, maar dat ze extra stabiliteit ontlenen aan het onderlinge verband van de zetting. Elementen met gaten vallen ook buiten deze categorie, omdat ze in de huidige praktijk slechts zelden en alleen in bijzondere omstandigheden worden toegepast; ze zijn dus niet 'standaard'. De mogelijke typen worden in hoofdlijnen onderscheiden door hun vorm en hun materiaal, zoals weergegeven in tabel 1.1.

vorm / materiaal	blokken	zuilen	overig
beton	betonblokken klinkers	betonzuilen	
natuursteen	granietblokken Doornikse steen 'petit' graniet	basaltzuilen	Vilvoordse steen Lessinese steen
restproducten	koperslakblokken		
overig	gebakken blokken		

Tabel 1.1
Typen standaard toplaagelementen

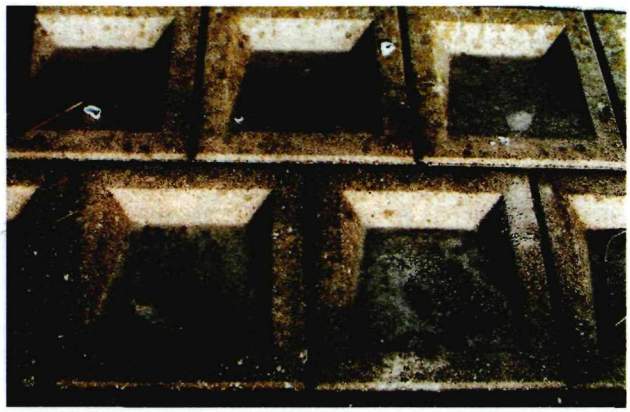


Foto 1.1 Betonblokken (type Haringman)



Foto 1.2 Betonzuilen (type PIT-polygoon)



Foto 1.3 Granietblokken (Pools graniet)

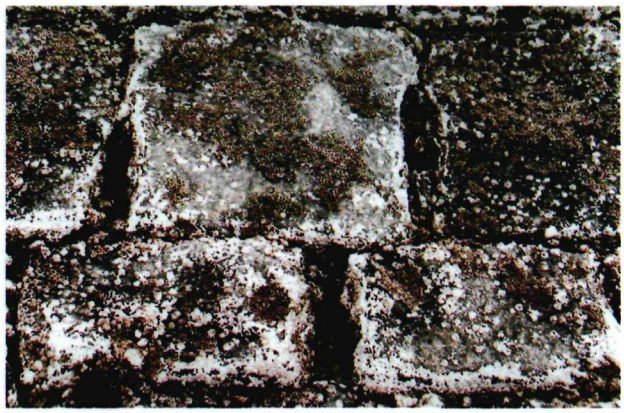


Foto 1.4 Doornikse steen



Foto 1.5 Petit graniet



Foto 1.6 Basaltzuilen



Foto 1.7 Vilvoordse steen



Foto 1.8 Lessinese steen

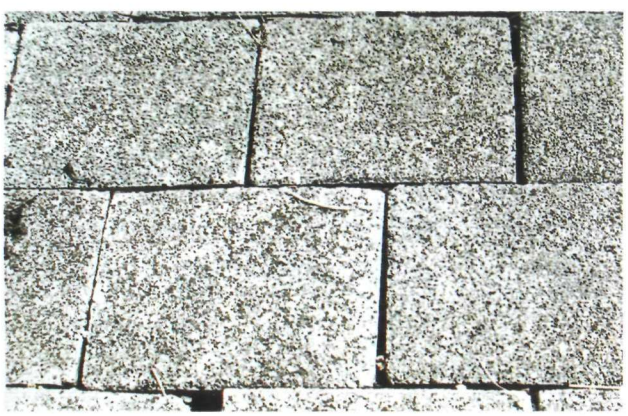


Foto 1.9 Koperslakblokken



Foto 1.10 Gebakken blokken

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 2.

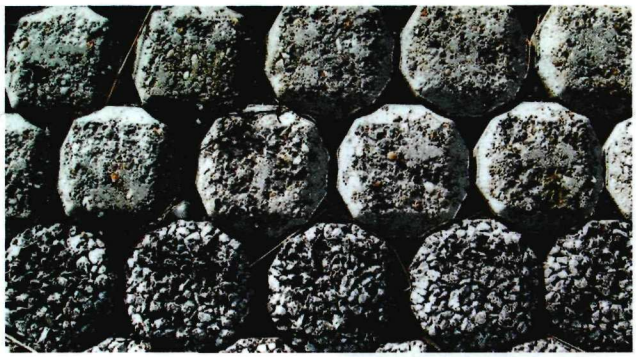
Kader 1.1

De vorm van toplaagelementen

Er is geen sluitende definitie van het verschil in vorm tussen blokken en zuilen. In de praktijk is kenmerkend voor blokken dat ze nauw op elkaar aansluiten, waarbij de spleetbreedte rondom elk element min of meer constant en meestal klein is. In de meeste gevallen zijn blokken in bovenaanzicht vierkant of rechthoekig, maar ook zeshoekige betonblokken komen voor.
Zuilen zijn elementen die niet nauw op elkaar aansluiten en waarbij de spleetbreedte rondom de afzonderlijke elementen varieert. In bovenaanzicht kunnen het regelmatige veelhoeken zijn, maar ook onregelmatige en niet rechthoekige vormen komen voor. Benadrukt wordt dat de verhouding tussen hoogte en zuiloppervlak binnen deze definitie niet bepalend is voor het onderscheid tussen zuilen en blokken.

Vilvoordse en Lessinese steen zijn onregelmatig van vorm en hebben vaak afgeronde hoeken. Zie ook bijlage A.3.2. Noorse stenen zijn zodanig afwijkend dat ze worden behandeld onder 'Aanverwante bekledingstypen'.

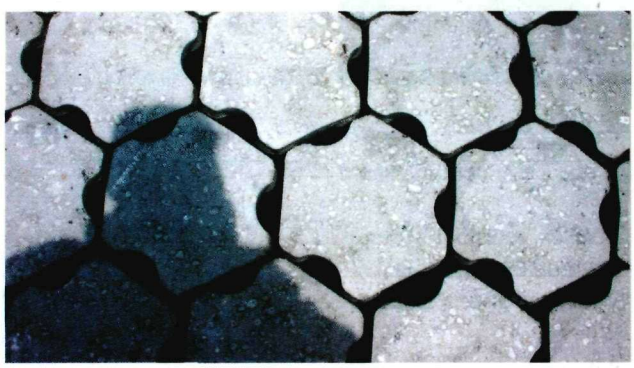
Diverse betonproducenten hebben inmiddels verschillende typen betonzuilen ontwikkeld: PIT-Polygoonzuilen, Basalton, Ronaton en HydroBlocks (dit laatste type valt vanwege de vorm, en ondanks de naam, in de categorie zuilen), zie foto 1.11.



PIT-Polygoonzuilen



Basalton



Ronaton



HydroBlocks

Foto 1.11
Vier typen betonzuilen: PIT-Polygoonzuilen, Basalton, Ronaton en HydroBlocks



Foto 1.12
Betonzuilen met ecotop



Foto 1.13
Gekantelde betonblokken

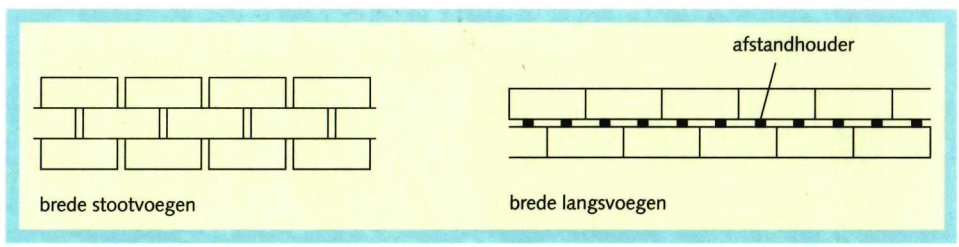
Overige aspecten van toplaagtypen

Behalve door de vorm en het materiaal kunnen toplaagtypen zich nog op andere manieren van elkaar onderscheiden:

1 Met name in nieuwere bekledingen (sinds 1995) komen betonzuilen voor met ecotop; dit is een ruw laagje op de bovenkant van de elementen ter bevordering van flora en fauna (zie foto 1.12). Ecotops worden niet meegeteld in de rekenwaarde van de toplaagdikte, zie bijlage A.3.1.

2 Betonblokken en granietblokken kunnen gekanteld zijn toegepast (zie foto 1.13); het betreft hergebruik van elementen die oorspronkelijk vlak waren aangebracht, maar die op de betreffende locatie alleen in gekantelde vorm voldoende sterkte konden leveren. De wijze van plaatsing heeft geen gevolgen voor de te hanteren rekenregels.

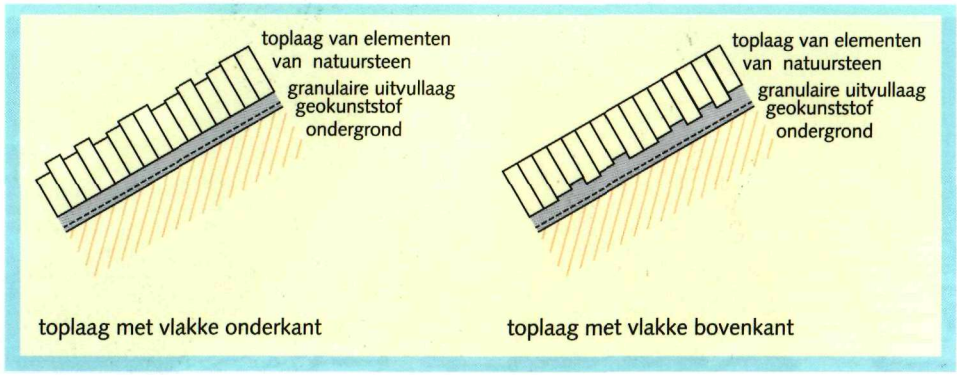
3 Bij betonblokken kunnen afstandhouders aanwezig zijn, of de blokken kunnen met een verbrede stootvoeg geplaatst zijn (zie figuur 1.2). De invloed van de afstandhouders op de toetsing wordt apart behandeld in 5.6.



Figuur 1.2
Twee maatregelen ter vergroting van de open ruimte

4 Voor toplaagtypen met een natuurlijke variatie in de elementhoogte (basaltzuilen en 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 1.3. Een voorbeeld van het eerste type staat in foto 1.14; bij de toetsing van zo'n bekleding moet worden nagegaan of de oneffenheden niet zodanig groot zijn dat zich andere faalmechanismen kunnen voordoen, zie 5.6. Het tweede type komt

het meeste voor en wordt getoetst volgens de normale regels in hoofdstuk 4; omdat de dikte van de granulaire laag varieert is de keuze van de rekenwaarde daarvan een aandachtspunt, zie bijlage A.4.1.



Figuur 1.3
Twee manieren van plaatsing op de granulaire laag

Door deze vrijheidsgraden bestaat er een groot aantal mogelijke verschijningsvormen van standaardelementen. De beoordelingsschema's zijn zodanig opgezet dat al deze varianten kunnen worden getoetst.



Foto 1.14
Toplaag natuursteen vlakke onderkant (links) en toplaag natuursteen vlakke bovenkant

1.1.2 Aanverwante bekledingstypen

Aanverwante bekledingstypen zijn bijzondere soorten steenzettingen of bekledingen die voor een deel uit een steenzetting bestaan. Onder deze categorie vallen: geschakelde steenzettingen, doorgroeistenen (niet onderling verbonden, maar bijzonder omdat de elementen van gaten zijn voorzien), Noorse stenen, gepenetreerde steenzettingen, breuksteenoverlagingen en steenzettingen met ruwheidselementen. De meeste bekledingen van deze typen zijn ofwel toegepast in een recent ontwerp voor bijzondere omstandigheden, of in een relatief oud ontwerp waarbij een steenzetting is gekozen die nu niet meer in aanmerking komt voor ontwerp. De toetsregels voor deze aanverwante bekledingstypen worden apart behandeld in hoofdstuk 5.

Geschakelde steenzettingen

Bij geschakelde steenzettingen zijn de toplaagelementen onderling verbonden. Er worden twee typen onderscheiden, afhankelijk van de manier waarop de blokken met elkaar zijn verbonden: blokkenmatten en interlockelementen.

Blokkenmatten bestaan uit betonblokken die onderling verbonden zijn door kabels of een geokunststof (zie foto 1.15). Ten opzichte van niet onderling verbonden betonblokken ontlenen blokkenmatten extra stabiliteit (ongeveer 10%) aan de onderlinge verbinding

tussen de elementen. In de praktijk zorgt de beweging van hoekelementen onder golfbelasting vaak voor schade; de verankering van de hoekelementen is daarom een expliciet onderdeel van de toetsing.



Foto 1.15 Blokkenmatten

Interlockelementen zijn betonelementen met een zodanige vorm dat aansluitende elementen in elkaar haken, bijvoorbeeld Leendertse blokken en diaboolblokken. Vanwege beheerstechnische nadelen komen interlockelementen niet meer in aanmerking voor ontwerp, maar ze komen nog wel voor in oude constructies. Net als bij blokkenmatten kan in de toetsing rekening worden gehouden met een grotere toplaagstabiliteit. Een belangrijk beheerstechnisch nadeel is, dat ontgrondingen onder de toplaag vanaf het talud niet goed zichtbaar zijn. Dit is een nadrukkelijk aandachtspunt in de toetsing.



Foto 1.16 Diaboolblokken



Foto 1.17 Leendertse blokken

Doorgroeistenen

Doorgroeistenen (ook wel grasbetonstenen genoemd) zijn platte betontegels of betonblokken met gaten erin die begroeiing mogelijk maken, zie foto 1.18. 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 of klei en wordt vervolgens ingezaaid. Het resultaat is een harde bekleding die er op enige afstand uitziet als gras. Op dijken worden doorgroeistenen toegepast op de overgang van de harde bekleding (van weg of taludbekleding) naar de grasbekleding en voorkomen ze, onder andere, schade door verkeer en het ontstaan van 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. Ten opzichte van een grasbekleding ontstaat eerder initiële schade, maar is de uiteindelijke schade kleiner.

Doorgroeistenen zijn alleen toelaatbaar onder stromingsbelasting of eventueel onder een lichte golfbelasting. Voor die zones kan bij de toetsing gebruik worden gemaakt van de regels voor grasbekledingen.



Foto 1.18 Doorgroeistenen

Noorse stenen

Noorse stenen staan ook wel bekend als Noordse stenen, Drentse stenen, Poolse stenen of flinten. Het zijn stenen die in de ijstijd door ijsmassa's zijn meegenomen. Ze zijn afgerond en vaak groot en hebben een lichtbruine tot rode/rozige kleur, zie foto 1.19. Ze zijn als taludbekleding te vinden langs het IJsselmeer, het Markermeer en de Waddenzee.
De stenen zijn 100 à 200 jaar geleden aangebracht, vaak in eerste instantie als golfdempende constructie vóór de dijk omdat de houten palenrijen die oorspronkelijk daarvoor dienden, waren aangevreten door de paalworm. In een later stadium zijn de stenen als bekleding op de dijk aangebracht. De toplaag van Noorse stenen is meestal aangebracht op een dikke filterlaag van metselpuin.



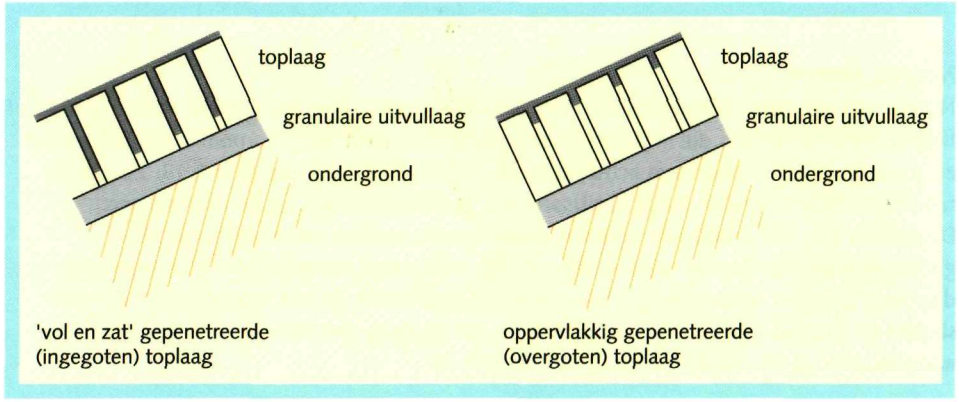
Wat betreft het constructieve gedrag zijn Noorse stenen een overgangsvorm tussen breuksteen en steenzettingen: de interactie tussen de elementen is groter dan bij breuksteen maar (meestal) kleiner dan bij steenzettingen.

Foto 1.19 Noorse stenen

Gepenetreerde steenzettingen

In het verleden zijn veel steenzettingen gepenetreerd om uitspoeling te voorkomen en om de samenhang tussen de toplaagelementen te vergroten. Penetratie komt voor bij alle zuilvormige toplaagtypen. Het penetratiemateriaal is meestal mastiek, maar ook penetratie met beton komt voor. Voor de constructieve eigenschappen is van belang tot welke diepte in de toplaag de penetratie is doorgedrongen.
Bij een oppervlakkig gepenetreerde steenzetting zijn de spleten van boven af tot minder dan de helft van de toplaagdikte gevuld met asfalt of beton, bij een 'vol en zat' gepenetreerde steenzetting is dit het geval tot meer dan de helft van de toplaagdikte (zie figuur 1.4).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen 'vol en zat' gepenetreerde (of 'ingegoten') en oppervlakkig gepenetreerde (of 'overgoten') steenzettingen.



Figuur 1.4 Definities gepenetreerde toplaag

Bij een 'vol en zat' gepenetreerde steenzetting in goede staat kan worden aangenomen dat de toplaagelementen zodanig met elkaar verbonden zijn, dat het geheel fungeert als een plaatbekleding. Bij oppervlakkig gepenetreerde steenzettingen is niet zeker of het geheel fungeert als een plaatbekleding: de interactie tussen de toplaagelementen is door de penetratie wel verbeterd, maar tijdens zware golfaanval kan het penetratiemateriaal na enkele uren plaatselijk los raken, waarna plotseling bezwijken kan optreden. Als de

Bij gebrek aan gegevens kan bij de toetsing van gepenetreerde steenzettingen in eerste instantie worden uitgegaan van de conservatieve aanname dat de granulaire laag niet gepenetreerd is.

elementen onvoldoende met elkaar verbonden zijn, kan de bekleding fungeren als een (ongunstige) standaardsteenzetting, maar het is ook mogelijk dat de faalmechanismen van een ingegoten steenzetting maatgevend zijn. Daarom moet bij de toetsing van overgoten steenzettingen rekening worden gehouden met de faalmechanismen van beide typen.

Er zijn er nog geen uitgekristalliseerde rekenregels voor dit bekledingstype, zie 5.4.

Breuksteenoverlaging

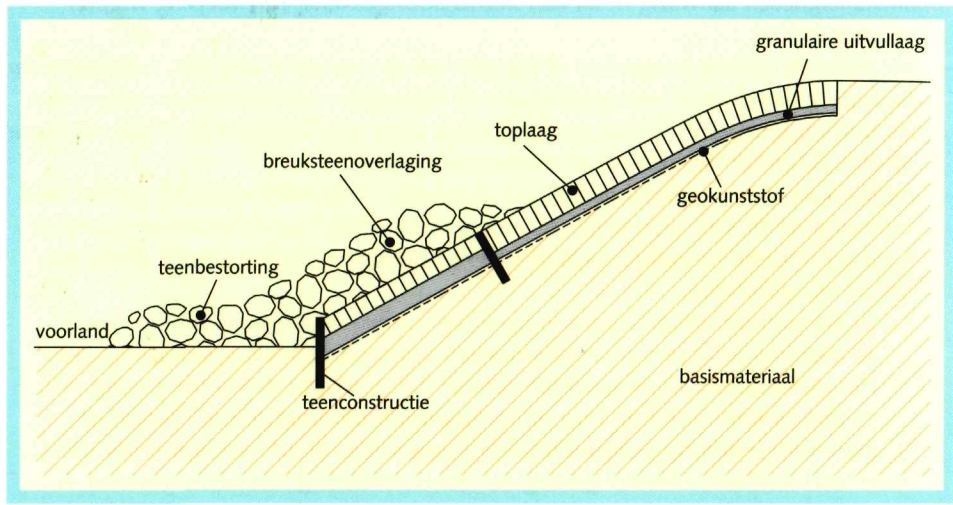
Een breuksteenoverlaging is een constructie waarbij op een bestaande steenzetting een pakket breuksteen is aangebracht, in het algemeen steunend op de teenbestorting. Het breuksteenpakket fungeert als voorbelasting op de toplaag, en voorkomt daardoor dat de toplaagelementen uit de toplaag worden gedrukt. Overlagingen zijn en worden vooral aangebracht in situaties waarbij de onderste strook van een steenzetting moet worden verbeterd, terwijl daarboven steenzettingen liggen die kunnen worden gehandhaafd.

Er bestaan drie soorten breuksteenoverlagingen:
- losse breuksteen, zie figuur 1.5;
- patroon-gepenetreerde breuksteen (ook wel gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen genoemd);
- 'vol en zat' gepenetreerde breuksteen.

De toetsing van patroon-gepenetreerde en 'vol en zat' gepenetreerde overlagingen wordt niet verder behandeld, zie Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren [lit.8].

Steenzettingen met ruwheidselementen

Toplagen met ruwheidselementen (zoals 'beverkoppen') worden soms toegepast om de golfoploop te verkleinen; verder komt het voor dat in de steenzetting uitstekende paaltjes of andere vreemde elementen zijn opgenomen. Ruwheidselementen komen bijna alleen maar voor op rechthoekige, plat geplaatste blokken. De bedekkingsgraad kan variëren, maar zal vaak rond de 25% liggen.



Figuur 1.5
Overlaging met losse breuksteen

1.1.3 Granulaire voegvulling

Tussen de toplaagelementen is vaak voegvulling aanwezig die is aangebracht om wrijving en/of klemming te vergroten. 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 ontwerpberekeningen wordt daarom normaal gesproken uitgegaan van een niet-ingewassen constructie, zodat beide effecten worden verwaarloosd, zie ook Achtergronden, 3.7.2 en bijlage A.3.4.

In nieuwere constructies is vaak een voegvulling aanwezig in de vorm van inwasmateriaal dat bestaat uit steenslag of grind. Ook inwassing met slakken komt voor; als deze bestaan uit hydraulisch materiaal bestaat daarbij de kans dat de voegen dichtgekit zijn.

In oudere constructies en in bepaalde regio's van Nederland komt ook voegvulling voor in de vorm van stopwerk. Daarbij zijn grote brokken en scherven van toplaagelementen vastgehamerd in de spleten van de toplaag. In de rekenmethodes wordt stopwerk op dezelfde manier behandeld als inwassing.

1.1.4 Inzanding en inslibbing

Behalve door bewust aangebrachte voegvulling kan de open ruimte tussen toplaagelementen ook zijn opgevuld door natuurlijke processen: aan zee zorgt de getijwerking op bepaalde locaties voor inzanding, inslibbing of inspoeling van schelpen en steentjes.

Het is mogelijk dat zowel de toplaag als de granulaire laag zijn ingezand of ingeslibd, maar het is ook mogelijk dat óf de toplaag, óf de granulaire laag is ingezand of ingeslibd. In bijlage A.3.6 en A.4.4 wordt behandeld hoe dit kan worden bepaald. De inzanding/ inslibbing heeft invloed op het faalmechnisme toplaaginstabiliteit, maar deze invloed is in de drie mogelijke gevallen verschillend:

- Als alleen de granulaire laag is ingezand of ingeslibd, wordt onder de toplaag minder overdruk opgebouwd, waardoor de belasting op de toplaag kleiner is (en de kans op toplaaginstabiliteit afneemt). Voor de toetsing is van belang dat dit gunstige effect alleen mag worden meegerekend als de inslibbing ook onder maatgevende omstandigheden aanwezig is; dit kan slechts door geavanceerde toetsing worden aangetoond.
- Als alleen de toplaag is ingezand of ingeslibd en de granulaire laag niet, ontstaat onder de toplaag overdruk die niet goed tussen de toplaagelementen door kan ontsnappen. De kans op toplaaginstabiliteit neemt hierdoor sterk toe. Overigens is dit een zeldzame situatie, waarvoor de reguliere rekenregels niet geldig zijn.
- Als de toplaag én de granulaire laag zijn ingezand of ingeslibd, wordt de situatie sterk bepaald door de aan- of afwezigheid van granulair materiaal in de voegen tussen de toplaagelementen (inwasmateriaal of steentjes die op natuurlijke wijze in de voegen terecht zijn gekomen):
  - Bij afwezigheid van granulaire voegvulling kunnen de toplaagelementen door de overdruk langzaam maar zeker als een zuiger uit de toplaag worden gedrukt ('zuigermechanisme'), waarbij het slib kan fungeren als afdichtende glijlaag. Aan de andere kant neemt de kans op toplaaginstabiliteit enigszins af doordat de granulaire onderlaag dichtgeslibd is. Het ongunstige effect overheerst, per saldo is deze constructie minder gunstig dan een steenzetting met niet-ingezande of -ingeslibde toplaag en granulaire laag.
  - Bij aanwezigheid van granulaire voegvulling treedt het genoemde *zuigermechanisme niet op; in eenvoudige en gedetailleerde toetsing wordt deze* constructie op dezelfde manier behandeld als wanneer alleen de granulaire laag is ingezand/ingeslibd. Geavanceerde toetsing is nodig om aan te tonen dat de inslibbing onder maatgevende omstandigheden aanwezig blijft.

In het dagelijks spraakgebruik wordt de granulaire laag vaak filterlaag genoemd, maar om verwarring met de uitvullaag te voorkomen zal in dit technisch rapport in het algemeen de term granulaire laag worden gebruikt.

1.1.5 Granulaire laag

De granulaire laag is meestal aangebracht met het oog op de uitvoering, maar is voor de toetsing van belang vanwege de invloed op verschillende faalmechanismen: toplaaginstabiliteit, afschuiving, materiaaltransport én erosie van de onderlagen (reststerkte). De relevante parameters van de granulaire laag worden behandeld in bijlage A.4.

In relatief nieuwe steenzettingen bestaat de granulaire laag meestal uit steenslag. In oudere constructies komt vaak grind of grof puin voor. Ook slakken zijn in het verleden toegepast en zijn daarom relevant voor de toetsing. Bekledingen die in de loop van de levensduur zijn herzet of waarvan de toplaag is vervangen, hebben soms meerdere granulaire lagen: bij het herzetten of vervangen is de oorspronkelijke uitvullaag van grof puin gehandhaafd, en is daarop een nieuwe uitvullaag van fijnere steenslag of gebroken grind aangebracht; overigens is de resulterende grote waterdoorlatendheid van de onderlagen zeer ongunstig voor de stabiliteit van de toplaag. Zoals beschreven in 1.1.8, kan ook een granulaire aanvulling (van mijnsteen, silex of betonpuin) zodanig waterdoorlatend zijn dat ze in de toetsing dezelfde rol speelt als de granulaire laag; dit is meestal het geval als de nulfractie uit de sortering is verwijderd.

1.1.6 Geokunststof

Een eventueel geokunststof op de ondergrond heeft een filterfunctie en is daarom meestal gronddicht en waterdoorlatend. Het betreft meestal vliezen (non-woven) of weefsels (woven). In oudere constructies komen ook rietmatten en landbouwplastic voor. Met het oog op de toetsing is de belangrijkste parameter van het geokunststof de openingsgrootte O_{90}, zie bijlage A.5.

1.1.7 Vlijlaag

Een vlijlaag bestaat per definitie uit plat gelegde bakstenen die in verband zijn geplaatst. De belangrijkste functie is het bevorderen van de gronddichtheid (het voorkomen van materiaaltransport). Om die reden bestaat een vlijlaag meestal uit meerdere lagen bakstenen, waarvan de elementen kruislings geplaatst zijn. Het aantal lagen bakstenen in de vlijlaag varieert van één tot acht; twee lagen bakstenen is gebruikelijk. Dit onderdeel wordt behandeld in bijlage A.6.

1.1.8 Basismateriaal/ondergrond

Het basismateriaal van een steenzetting is gedefinieerd als de bovenste laag die behoort tot het grondlichaam van de dijk of oever (zie de linkeruitvouw). Als de kern van een dijk 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 is het zand vaak afgedekt door een laag van klei of keileem. Deze afdekkende laag is weinig doorlatend en heeft daardoor een functie in de beperking van kwel. Klei en keileem zijn bovendien cohesieve materialen; de afdekkende klei- of keileemlaag heeft daardoor ook een functie in het voorkomen van afschuiving, én zorgt voor enige reststerkte als de toplaag zou bezwijken. De belangrijkste parameters worden behandeld in bijlage A.7.

In het verleden kwam het voor dat een dijklichaam moest worden aangevuld om de bekleding te kunnen aanbrengen. Als daarvoor op het moment van aanleg geen klei (basismateriaal) beschikbaar was, bracht men een aanvulling aan van granulair materiaal of zand. Ook is bij de aanleg van nieuwe dijken in het verleden vaak gebruik gemaakt van perskaden van granulair materiaal (meestal mijnsteen), waartussen het kernmateriaal van zand werd aangebracht. Als deze granulaire aanvulling een *lage* waterdoorlatendheid heeft, speelt ze in de toetsing dezelfde rol als het basismateriaal; bij *hoge* waterdoorlatend-

heid fungeert de aanvulling hetzelfde als de granulaire laag. De overgang hiertussen is geleidelijk; deze situaties zijn verwerkt in de toetsingsgereedschappen. Verschillende breed gegradeerde granulaire materialen komen voor: mijnsteen (een bijproduct van kolenwinning), silex (een restproduct van de cementindustrie) en betonpuin. De waterdoorlatendheid van het materiaal hangt af van de zeefkromme: bij een brede sortering met een fijne fractie (nulfractie) hoort een lage waterdoorlatendheid. Mijnsteen met een nulfractie wordt ongesorteerde mijnsteen genoemd.

1.2 OVERIGE CONSTRUCTIEONDERDELEN

In het eerste deel van dit hoofdstuk is informatie gegeven over de toplaag en de overige bekledingslagen van een steenzetting. In deze paragraaf komen de overige constructieonderdelen aan bod.

1.2.1 Teenbestorting

De bestorting heeft als functie het beschermen van de teen tegen erosie (in morfologisch actieve gebieden) en daarnaast het ondersteunen van de teenconstructie. De twee belangrijkste verschijningsvormen zijn bestortingen van losgestorte steen en bestortingen van gedeeltelijk of patroon-gepenetreerde steen. De bestorting bestaat uit breuksteen (meestal van standaard-sorteringen), maar ook bestortingen van vrijgekomen toplaag-elementen komen voor. Onder de bestorting ligt vaak een filterconstructie van geo-kunststof, granulair materiaal of oude zinkmatten van rijshout.

De toetsing van teenbestortingen wordt behandeld in 6.2.

1.2.2 Teenconstructies

In het algemeen bevatten teenconstructies een diepstekend funderingselement en een rechtlijnig vlak element waar de steenzetting tegenaan is geplaatst. De belangrijkste typen teenconstructies zijn houten schotten ondersteund door perkoenpalen, prefab betonconstructies en soms damwanden. Teenconstructies bevatten soms een geokunststof voor de gronddichtheid. In oude bekledingen bestaat de teenconstructie vaak uit niet meer dan een aaneengesloten rij perkoenpalen.
Overigens wordt ook het geheel van teenbestorting, funderingselement en vlak element wel aangeduid met de term teenconstructie.

1.2.3 Overgangsconstructies

Een horizontale overgangsconstructie tussen twee bekledingstypen wordt vaak aangebracht om het zetten van de hogergelegen bekleding mogelijk te maken en bevat daarom een rechtlijnig vlak element. Zowel horizontale als verticale overgangsconstructies hebben in sommige gevallen de functie te voorkomen dat materiaaltransport plaatsvindt tussen de onderlagen van de twee aan elkaar grenzende bekledingen. Voor dit doel kan een overgangsconstructie een diepstekend element (bijvoorbeeld een betonband) bevatten, vaak in combinatie met een geokunststof.

Een diepstekend element dat de granulaire laag afsluit kan voor problemen zorgen met de omliggende steenzetting (zie ook 2.8). De lokale verhoging van de opwaartse waterdruk en de mogelijke afname van wrijving/klemming leidt tot een grotere kans op toplaaginstabiliteit. Deze invloed is vooral van belang bij toplaagelementen met een klein open-ruimtepercentage (zoals betonblokken).

1.2.4 Aansluitingsconstructies

Bij een filter van geokunststof moet extra aandacht worden besteed aan de aansluiting.

De aansluiting van een steenzetting op een andere constructie in het dijklichaam (zoals een kunstwerk) wordt een aansluitingsconstructie genoemd. Hiervoor geldt grotendeels dezelfde problematiek als bij overgangsconstructies: vanwege grotere lokale opwaartse waterdruk is er grotere kans op toplaaginstabiliteit en vanwege de onderbreking van de constructie is er grotere kans op materiaaltransport (zie 2.8). Om deze reden is rondom de aansluiting in veel gevallen een strook gepenetreerd met gietasfalt of is de constructie overgedimensioneerd.

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

In dit technisch rapport worden niet de vorm of constructieve uitwerking van deze constructie-onderdelen zelf behandeld, maar alleen de eventuele bekleding van steenzettingen erop. De verschijningsvormen hiervan zijn in principe hetzelfde als besproken in 1.1. Voor de toetsing zijn deze constructie-onderdelen alleen van belang als ze onderdeel uitmaken van de primaire waterkering; bij overlaten en kribben is dat normaal gesproken niet het geval.

Niet elke relatief vlakke strook in het buitentalud wordt in de toetsing behandeld als een berm; daarvoor moet worden voldaan aan een aantal voorwaarden ten aanzien van taludhelling, breedte en in sommige gevallen niveau, zie kader 4.4.

2 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 (2.1). Vervolgens worden de faalmechanismen besproken, met name de drie soorten faalmechanismen van steenzettingen van standaardelementen:

- **toplaaginstabiliteit (2.2);**
- **afschuiving (2.3);**
- **materiaaltransport (2.4).**

Daarna worden kort de faalmechanismen van aanverwante bekledingstypen behandeld (2.5) en aansluitend komen niet-hydraulische faalmechanismen aan de orde (2.6). Als de steenzetting niet meer functioneert, is het mogelijk dat de onderlagen nog zodanige weerstand tegen erosie (of 'reststerkte') hebben dat falen van de waterkering wordt voorkomen; het bijbehorende faalmechanisme erosie van de onderlagen wordt in 2.7 behandeld. Ten slotte wordt falen door en falen van een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie besproken (2.8).

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

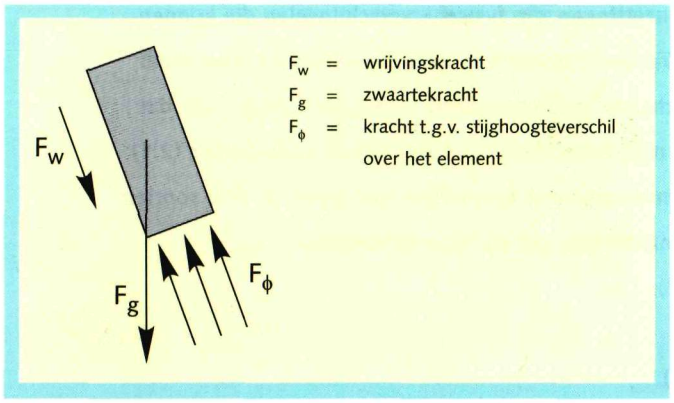
2.1 FALEN BEKLEDING VERSUS FALEN WATERKERING

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 mogelijke 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. 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.

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

2.2 FALEN STEENZETTING DOOR TOPLAAGINSTABILITEIT

De toplaagelementen 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 toplaagelementen een opwaartse waterdruk. Als deze opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse waterdruk is er sprake van een opwaartse kracht op het toplaagelement. In bepaalde omstandigheden is deze opwaartse kracht groter dan het elementgewicht plus de onderlinge wrijving en/of klemming; in die omstandigheden worden de elementen uit de bekleding geduwd, zie figuur 2.1. 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 toplaagelementen, maar wordt meestal toplaaginstabiliteit genoemd.



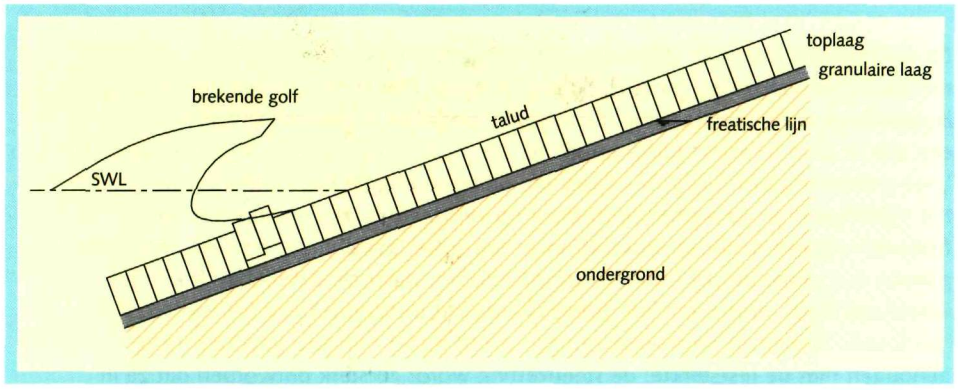
Figuur 2.1
Krachten op toplaagelement die van belang zijn voor toplaaginstabiliteit

Het faalmechanisme toplaaginstabiliteit kan worden onderverdeeld in vier deelmechanismen:
- belasting door golven, situatie bij maximale golfterugtrekking maatgevend (2.2.1);
- belasting door golven, situatie bij golfklap maatgevend (2.2.2);
- belasting door langsstroming (2.2.3);
- belasting door golfoploop (2.2.4).

Toplaaginstabiliteit bij steenzettingen op een berm wordt apart behandeld (2.2.5).

2.2.1 Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking

Toplaaginstabiliteit kan worden veroorzaakt door de opwaartse waterdruk op het moment van maximale golfterugtrekking. Het faalmechanisme is weergegeven in figuur 2.2.



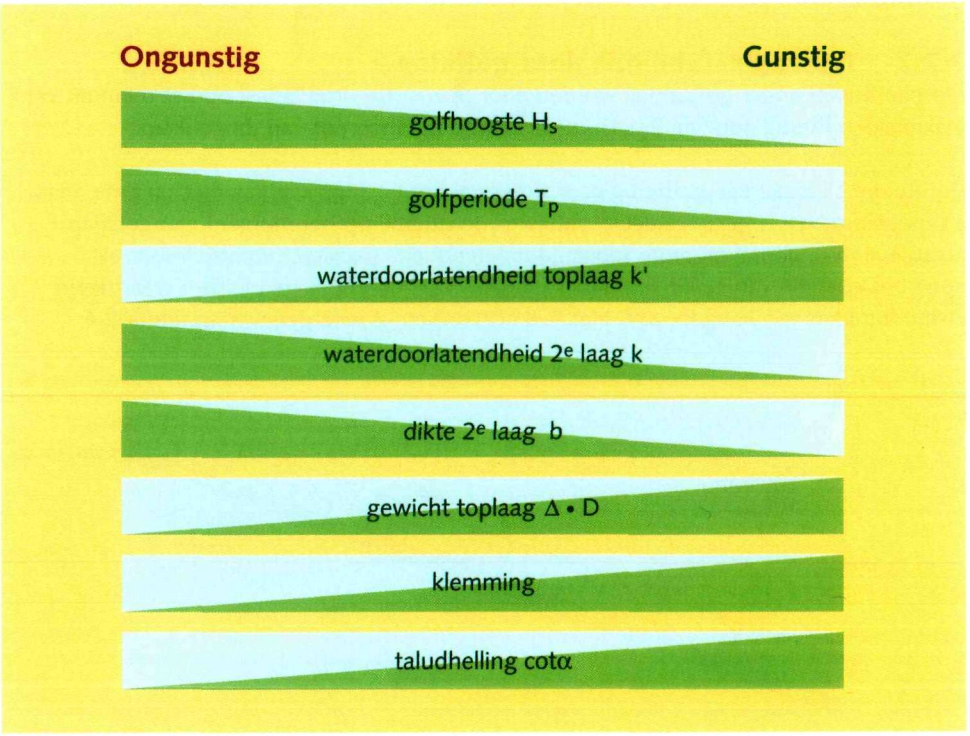
Figuur 2.2
Faalmechanisme toplaaginstabiliteit

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 massatraagheid 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 2.2.2.

Parameters
De stabiliteit van de toplaag is afhankelijk van 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 2.3 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 2.3
Parameters toplaag-instabiliteit 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 leklengte 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 leklengte 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.

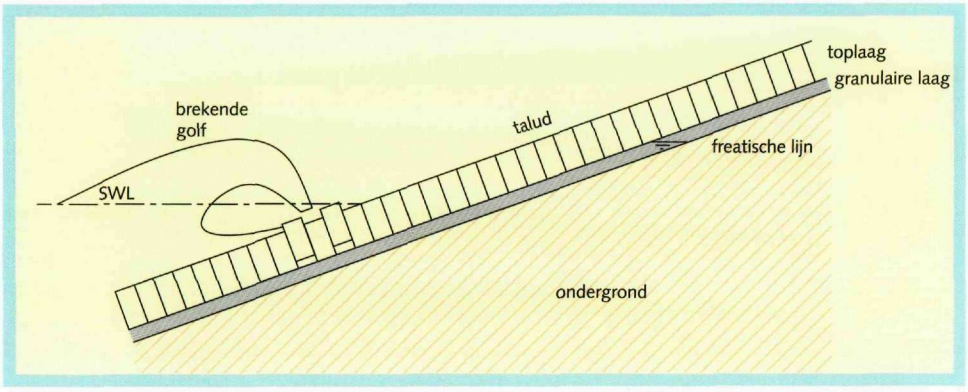
6 Gewicht van de toplaag: het gewicht, bepaald door toplaagdikte en dichtheid van de toplaagelementen, zorgt voor neerwaartse druk. Hoewel een grotere toplaagdikte ongunstig is voor het ontsnappen van water onder de toplaag (zie punt 3) is de positieve bijdrage van het gewicht per saldo groter.
7 Klemming: de klemming tussen de toplaagelementen levert neerwaartse kracht zodra er opwaartse waterdruk ontstaat door maximale golfterugtrekking.
8 Taludhelling cotα: 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 (2.2.1 en 2.2.2). Ook de rekenregels voor toplaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

2.2.2 Toplaaginstabiliteit door golfklap

Steenzettingen onder golfaanval worden door opwaartse druk belast op het moment van maximale golfterugloop (zie 2.2.1), 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 2.4.



Figuur 2.4
Faalmechanisme toplaaginstabiliteit door golfklap

Op het moment van de golfklap is de waterdruk onder de toplaag aan het afnemen, maar nog wel aanwezig. De golfklap veroorzaakt een locale drukpiek aan de bovenkant van de toplaag, die vervolgens doordringt tot onder de toplaagelementen. Bij de meeste 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 massatraagheid van het toplaagelement en de invloed van overgangsconstructies. Vanwege de korte duur van de belastingsituatie hebben vooral de verhinderde toestroming en de massatraagheid een gunstige invloed op de stabiliteit.

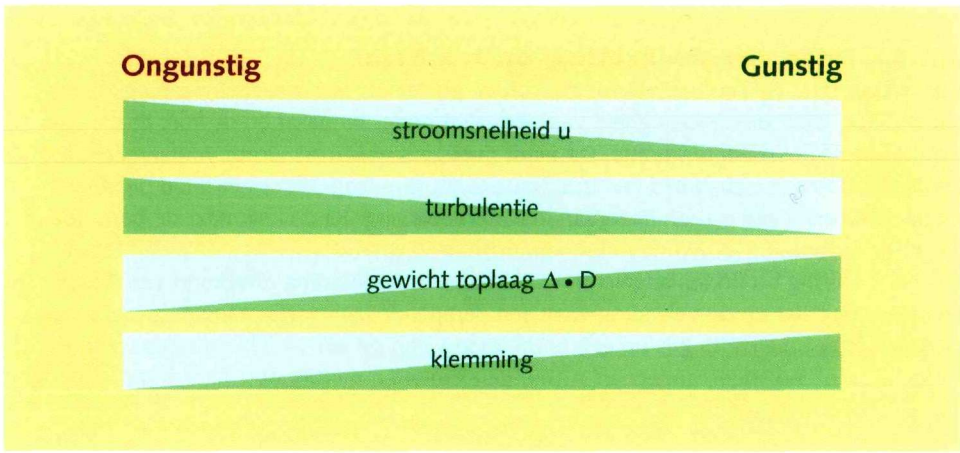
Hierna wordt dit faalmechanisme aangeduid als toplaaginstabiliteit door golfklap. Als in de tekst sprake is van toplaaginstabiliteit (zonder nadere specificering), dan betreft het beide mechanismen (2.2.1 en 2.2.2). Ook de rekenregels voor toplaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

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 2.2.1.

2.2.3 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 2.5 staan de belangrijkste belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij toplaaginstabiliteit onder langsstroming.



Figuur 2.5
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 toplaaginstabiliteit door stroming.

2.2.4 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.

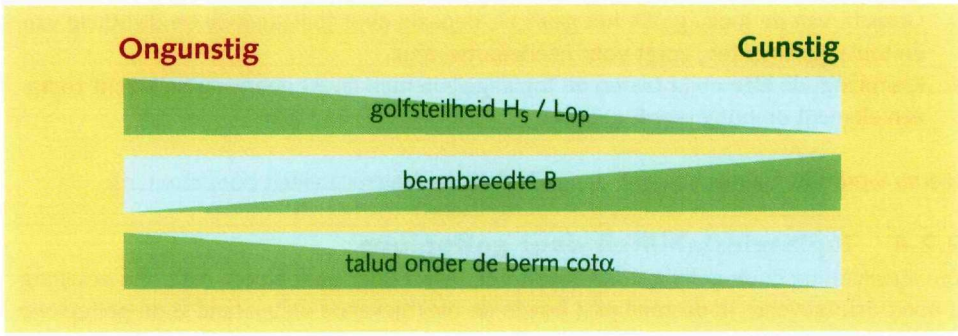
Voor steenzettingen boven de maatgevende waterstand op het buitentalud bestaan geen afzonderlijke rekenregels: de regels zijn gerelateerd aan de regels voor de golfklapzone. Voor steenzettingen op kruin en binnentalud bestaan wel aparte regels. Deze steenzettingen worden belast door het overslagdebiet 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 toplaaginstabiliteit.

2.2.5 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 1.2.5. 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 2.6.



Figuur 2.6
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 reduceert de belastingen en is dus gunstig.
3 Taludhelling onder de berm cotα: 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.

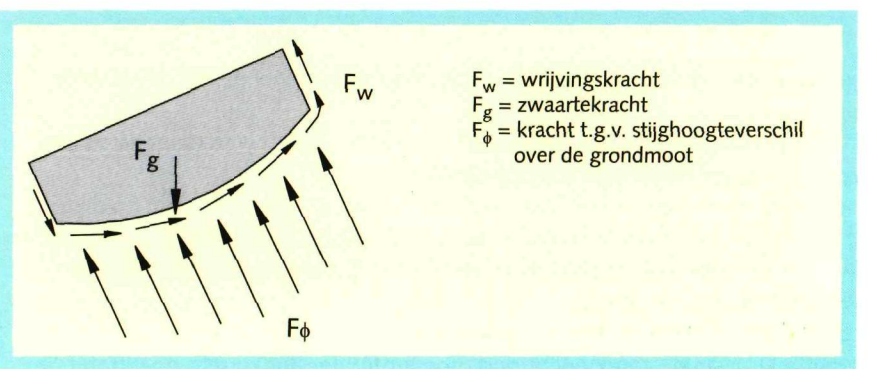
2.3 FALEN STEENZETTING DOOR AFSCHUIVING

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.

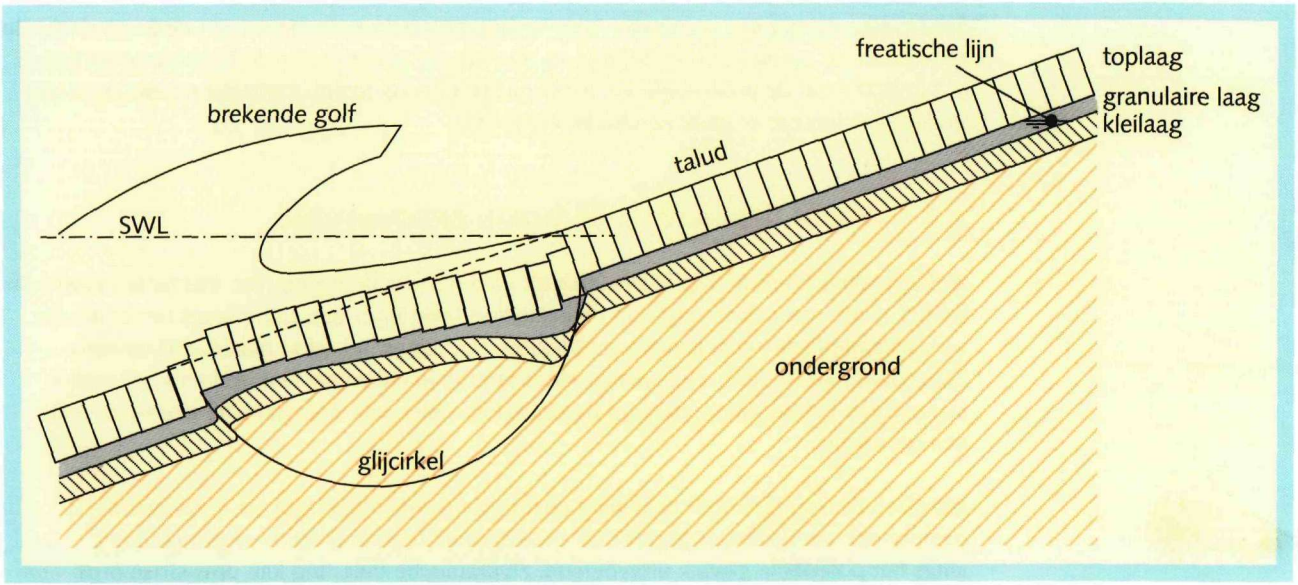
Op elke willekeurige moot bekleding en/of grond wordt enerzijds de aandrijvende component van de zwaartekracht en anderzijds de tegenwerkende wrijvingskracht langs het potentiële glijvlak uitgeoefend. Hydraulische belasting kan opwaartse druk veroorzaken: dit kan vlak onder de toplaag voorkomen (zie 2.2), 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 2.7.

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. 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 laagscheiding tussen toplaag en de laag eronder) en afschuiving van de hele bekleding over een glijvlak in de ondergrond van zand. Wat betreft de omvang wordt onderscheid gemaakt tussen lokale afschuiving – waarbij een deel van de toplaag uitknikt – en 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 2.8. De regels zijn echter zo opgesteld dat ze ook de andere vormen van afschuiving bestrijken.

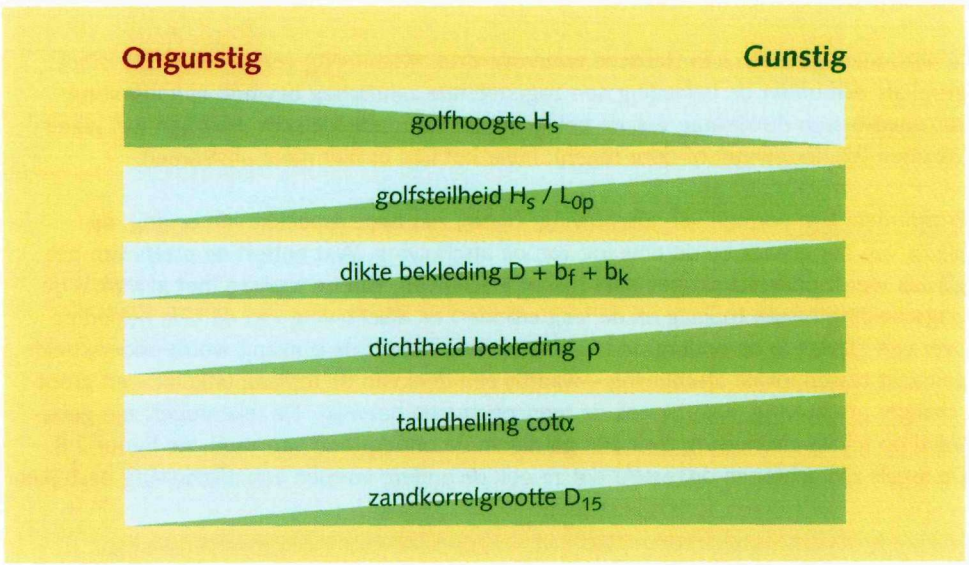


Figuur 2.7 Krachtenevenwicht afschuiving



Figuur 2.8
Diepe kleinschalige afschuiving

Parameters
In figuur 2.9 staan de belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij het faalmechanisme afschuiving.



Figuur 2.9
Parameters afschuiving

1 Golfhoogte H_s: een grotere golfhoogte is ongunstig voor zowel de belasting als de sterkte.
2 Golfsteilheid H_s / L_{0p}: een steilere golf, dus een grotere waarde van de golfsteilheid, zorgt voor een lagere belasting en is dus gunstig.
3 Dikte bekleding, samengesteld uit toplaagdikte D, dikte granulaire laag b_f en dikte kleilaag b_k. Samen met de dichtheid van de bekleding bepaalt de dikte het gewicht, en het gewicht is de belangrijkste sterkteparameter met betrekking tot afschuiving.
4 Dichtheid bekleding ρ, zie punt 3.
5 Taludhelling cotα: een steile helling is ongunstig.
6 Korrelgrootte D_{15} van de zandondergrond: hoe groter de zandkorrels, hoe groter de weerstand tegen afschuiving.

2.4 FALEN STEENZETTING DOOR MATERIAALTRANSPORT

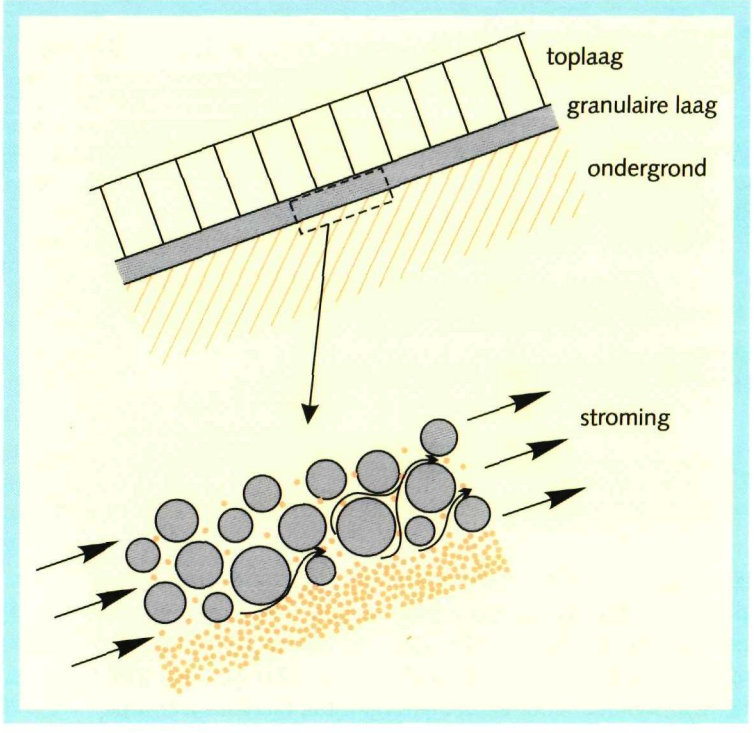
De bekleding beschermt het grondlichaam tegen erosie. Daarom moet de toplaag intact blijven. Het is echter ook noodzakelijk dat uitspoeling van materiaal uit de lagen daaronder wordt voorkomen. De verschillende faalmechanismen waarbij uitspoeling van materiaal plaatsvindt worden aangeduid met de term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

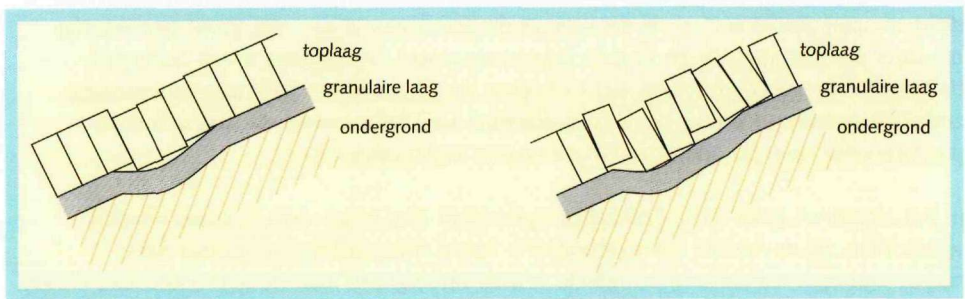
2.4.1 Materiaaltransport vanuit ondergrond naar granulaire laag

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 2.10.



Figuur 2.10
Uitspoeling van materiaal uit de onderlaag

Overigens zal dit proces meestal niet direct leiden tot falen van de bekleding, maar eerst verzwakking veroorzaken. Er kunnen holle ruimten ontstaan onder de bekleding. Hierdoor kan de bekleding haar verband kwijtraken en plaatselijk verzakken, waardoor de sterkte afneemt. Bovendien kan de opwaartse druk toenemen doordat de doorlatendheid van de onderlaag toeneemt. De aanwezigheid van een filterlaag (granulair, geokunststof of vlijlaag) is bedoeld om dit mechanisme te voorkomen. Het faalmechanisme is weergegeven in figuur 2.11.



Figuur 2.11
Schadeverloop bij het faalmechanisme materiaaltransport

Parameters
Bij materiaaltransport vanuit de ondergrond zijn de parameters van belang die de weerstand bepalen tegen uitspoeling en de opwaartse kracht op de gronddeeltjes, zie figuur 2.12.

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



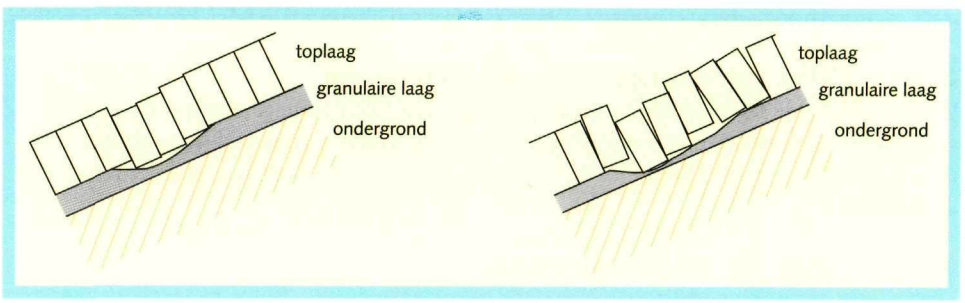
Figuur 2.12
Parameters materiaal-transport ondergrond naar granulaire laag

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 granulair 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 toplaaginstabiliteit is feitelijk de leklengte Λ van belang: de verhouding tussen het gemak waarmee het water door de granulaire laag en door de toplaag stroomt, bepaald door de waterdoorlatendheid en de dikte van de toplaag en de granulaire laag, zie ook punt 5; het begrip leklengte 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 cotα: een steilere helling leidt tot een groter verhang en is dus ongunstig.

2.4.2 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag

De golfbeweging zorgt voor opwaartse waterdruk onder de toplaagelementen, zie 2.2. 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. Dit kan ook tot falen leiden, zie figuur 2.13.



Figuur 2.13 Schadeverloop bij faalmechanisme materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Parameters
Bij materiaaltransport vanuit de granulaire laag zijn de parameters van belang die de weerstand tegen uitspoeling en de opwaartse kracht op de granulaire deeltjes bepalen,zie figuur 2.14.

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



Figuur 2.14
Parameters materiaaltransport granulaire laag naar 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.

2.5 FAALMECHANISMEN VAN AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN

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

2.5.2 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 1.1.2.

2.5.3 Falen van Noorse stenen
Voor Noorse stenen gelden globaal dezelfde faalmechanismen als voor standaard steenzettingen. Ten aanzien van toplaaginstabiliteit zijn Noorse stenen een overgangsvorm tussen breuksteen en steenzettingen: de maatgevende belasting kan worden veroorzaakt door de rechtstreekse klap van de golven, maar ook wateroverdruk in de laag onder de toplaag kan een rol spelen.

2.5.4 Falen van gepenetreerde 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 2.3 en 2.4. In deze paragraaf wordt verder ingegaan op het faalmechanisme oplichten van de toplaag, dat specifiek geldt voor gepenetreerde bekledingen.

Een gepenetreerde 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 5.4.2.

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 2.2. Dit is het geval bij een oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzetting (zie ook 1.1.2) of als getwijfeld wordt aan de kwaliteit van het penetratiemateriaal.

2.5.5 Falen van breuksteenoverlagingen

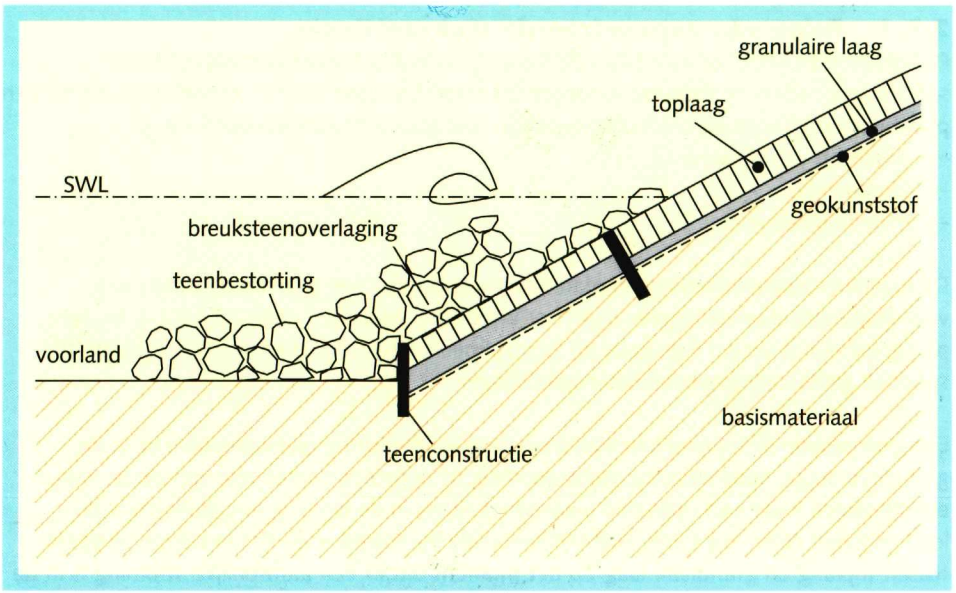
Een overlaging met breuksteen wordt alleen aangebracht als de steenzetting zelf niet voldoende sterkte kan bieden en wordt ontworpen op de faalmechanismen van de overlaging zelf, zonder rekening te houden met de (rest)sterkte die wordt geleverd door de steenzetting onder het breuksteenpakket en door 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.

Voor de faalmechanismen van een 'vol en zat' gepenetreerde breuksteenoverlaging, zie Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren [lit.8].

In dit *Technisch Rapport Steenzettingen* wordt alleen het faalmechanisme voor losse breuksteen of patroon-gepenetreerde 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 2.15.



Figuur 2.15
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 2.16.



Figuur 2.16
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 cotα: 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.

2.6 FALEN DOOR NIET-HYDRAULISCHE BESCHADIGING

Een steenzetting kan ook door verschillende niet-hydraulische oorzaken worden beschadigd: recreatie, vandalisme, scheepsaanvaring, ijsbelasting en wrakhout en drijvend vuil. Hiermee wordt bij ontwerp (en toetsing) in het algemeen geen rekening gehouden.

Recreatie en vandalisme kunnen leiden tot lokale beschadiging van een steenzetting, bijvoorbeeld door het uitlichten van stenen of beschadiging van het geokunststof. Het onder controle houden van de gevolgen van dit type beschadigingen wordt gezien als een onderdeel van het normale beheer en onderhoud en wordt daarom niet meegenomen in de toetsing. Voor zover relevant wordt overigens wel geprobeerd om er rekening mee te houden bij het ontwerp.

De kans op scheepsaanvaring is zeer klein, maar als het gebeurt is er grote kans dat dat tijdens storm is (overigens niet tijdens maatgevende storm, want dan wordt er meestal niet meer gevaren). De aanvaring zelf kan ernstige beschadiging van de bekleding veroorzaken, waarna de golfbelasting, ook al is deze niet extreem zwaar, erosie van de onderlagen kan veroorzaken. Falen van de waterkering door scheepsaanvaring is dus reëel en kan worden gezien als een relevant faalmechanisme. Het is echter niet praktisch en haalbaar om de bekleding op deze belasting te ontwerpen, vanwege de zeer hoge kosten en de relatief kleine kans. Voor zover relevant moet de vereiste faalkans worden bereikt door scheepvaartvoorzieningen of door overdimensionering van het grondlichaam. Er zijn dus geen regels voor ontwerp en toetsing; maar het is wél van belang dat bij de beheerder bekend is welke locaties gevoelig zijn voor scheepsaanvaring.

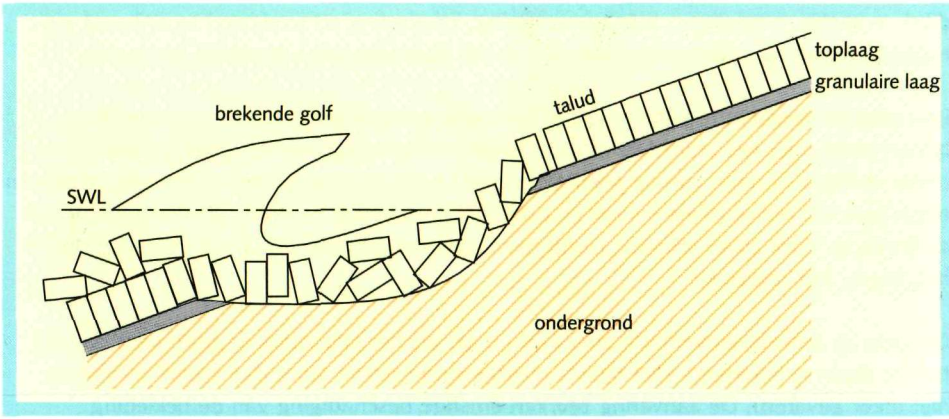
IJsbelasting kan voor een steenzetting even schadelijk zijn als scheepsaanvaring, maar de kans dat ijsbelasting tegelijk plaatsvindt met grote golfbelasting is zeer klein. Deze kans wordt nog verkleind doordat de ijslaag een sterk golfdempende werking heeft. De kans op schade is het grootst bij oneffenheden (bij de teenconstructie of bij uitsteeksels of ruwheidselementen op de toplaag). Een zeer steile taludhelling (orde 60°) is optimaal uit dit oogpunt, maar dat valt buiten het toepassingsgebied van Nederlandse dijken.

Wrakhout en drijvend vuil zijn meestal te klein om een steenzetting ernstig te beschadigen.

2.7 EROSIE VAN DE ONDERLAGEN ('RESTSTERKTE')

De weerstand die de onderlagen bieden nadat de toplaag is bezweken wordt de reststerkte genoemd. De waterkering faalt als de steenzetting bezwijkt én de reststerkte niet volstaat om de golfaanval voldoende lang te weerstaan. Het bijbehorende faalmechanisme wordt erosie van de onderlagen genoemd.
Bezwijken van de toplaag is in de rekenregels voor toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport gedefinieerd als het optreden van initiële schade. Dit betekent bijvoorbeeld dat er enige elementen los zijn geraakt, zodat de steenzetting geen onderling verband meer heeft. Op dat moment functioneert de waterkering nog steeds: de waterkering faalt pas als de golfaanval ook het dijklichaam zodanig heeft weggeërodeerd dat overstroming plaatsvindt (gedefinieerd als een constante stroming door een bres in een dijk of dam). De bezweken toplaag, de onderlagen van de bekleding en de kern van de dijk of dam kunnen significante weerstand bieden aan de erosie. Deze weerstand is de reststerkte, die wordt uitgedrukt in de tijdsduur vanaf de initiële schade aan de toplaag tot aan het moment van falen van de waterkering.

In figuur 2.17 is de situatie enige tijd ná falen van de steenzetting, maar vóór falen van de waterkering weergegeven.



Figuur 2.17
Faalmechanisme erosie van de onderlagen

Reststerkte kan slechts in rekening worden gebracht als er voldoende zekerheid bestaat over de sterkte (de opbouw van de dijk of dam) en de belasting (verloop van golfbelasting en waterstand tijdens een maatgevende storm). In de praktijk zijn beide vaak onzeker:

- Ten aanzien van de sterkte: er zijn veel geotechnische gegevens nodig, zoals de ligging van kleilaag of kleikern en de erosiebestendigheid van de klei. Deze gegevens zijn meestal niet beschikbaar en moeilijk te verzamelen. Bovendien zijn er geen goede gedetailleerde erosiemodellen voor klei beschikbaar.
- Ten aanzien van de belasting: er wordt gewerkt met aannamen voor het verloop van de waterstand gedurende de maatgevende storm, inclusief de tijdsduur. Het bijbehorende verloop van de golfbelasting kan worden bepaald, maar dit is een bewerkelijk proces.

In de huidige ontwerppraktijk wordt altijd aangenomen dat geen reststerkte aanwezig is. Als de reststerkte werd meegerekend zouden de aanlegkosten van de toplaag weliswaar lager zijn, maar in het algemeen wordt aangenomen dat dit niet opweegt tegen de hogere onderhoudskosten (meer reparaties van de bekleding na storm). Bovendien: als het meerekenen van reststerkte in het ontwerp standaard-praktijk zou zijn, zouden na een bijna-maatgevende storm zeer veel reparatiewerkzaamheden nodig zijn, waardoor afdoende reparatie misschien niet mogelijk is voor aanvang van de volgende storm.

In de toetsing zou de reststerkte in bepaalde gevallen wel kunnen worden meegerekend, als er voldoende duidelijkheid bestaat over sterkte en belasting. Als de toplaag 'onvoldoende' scoort kan de reststerkte zorgen voor een eindscore 'voldoende' (dus niet 'goed'). De wijze van toetsing hangt deels af van het mechanisme waarop de toplaag 'onvoldoende' scoort:

- 'onvoldoende' op toplaaginstabiliteit: de reststerkte van toplaag, granulaire laag en kleilaag of -kern kan worden meegerekend;
- 'onvoldoende' op afschuiving: het type afschuiving waarop wordt getoetst vindt altijd plaats over een glijvlak in het zand onder de bekleding; bij een score 'onvoldoende' op afschuiving kan daarom niet op enige reststerkte worden gerekend;
- 'onvoldoende' op materiaaltransport: de reststerkte van toplaag en granulaire laag kan niet worden meegerekend, die van de kleilaag wel.

Ook bij de toetsing geldt als aandachtspunt dat een té grote rol van de reststerkte in de veiligheid ongewenst is, omdat in dat geval na storm zoveel schade zou ontstaan dat afdoende reparatie niet mogelijk is voor aanvang van de volgende storm.

Hierna wordt dit faalmechanisme aangeduid als erosie van de onderlagen.

Parameters

De weerstand tegen erosie van de onderlagen wordt bepaald door de parameters die het tijdsverloop van de belasting en de erosiebestendigheid van de onderlagen bepalen. In de rekenmethodiek wordt naast de sterkte ook de belasting uitgedrukt in een tijdsduur: de maatgevende belastingduur. De volgende parameters zijn van belang:

- het *tijdsverloop van waterstand en golfparameters* (hoogte, steilheid en invalshoek) tijdens storm (inclusief de duur daarvan) is bepalend voor de belasting.
- weerstand tegen erosie kan worden geleverd door granulaire bekledingslagen en door de klei in het dijklichaam (de kleilaag die op een zandkern ligt of de kleikern). Bij granulaire bekledingslagen geldt de laagdikte als sterkteparameter. Hieruit volgt de tijdsduur totdat de granulaire laag is weggeërodeerd. Voor kleilagen wordt deze tijdsduur echter bepaald door *laagdikte* en verschillende *materiaalparameters*.

Door gebrek aan kennis wordt de weerstand van zand verwaarloosd.

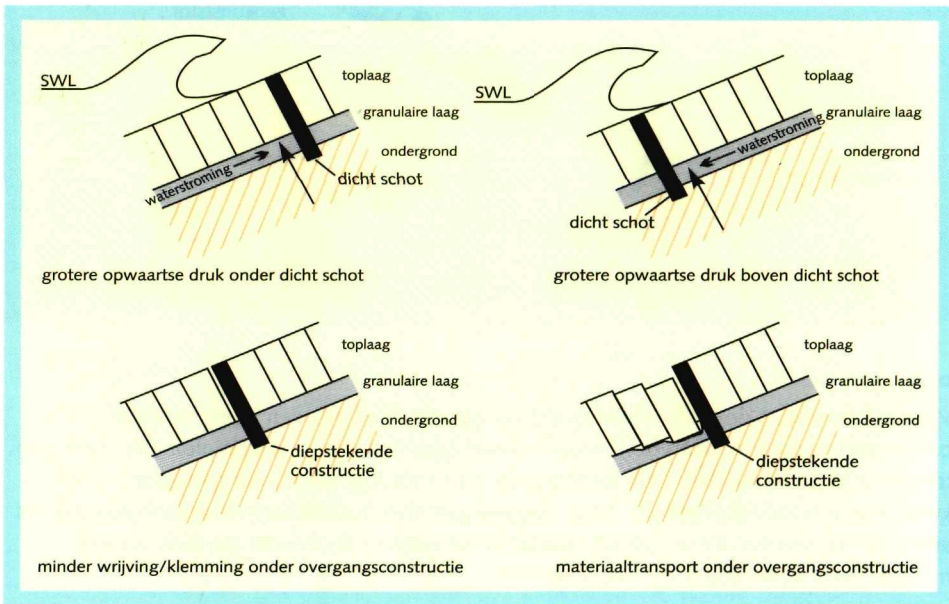
2.8 FALEN DOOR OF VAN TEEN-, OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES

De aanwezigheid van een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie is op twee manieren van belang voor de faalmechanismen van steenzettingen: de constructie kan een negatieve invloed hebben op de aansluitende steenzetting en de constructie kan zelf falen.

2.8.1 Falen door teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie

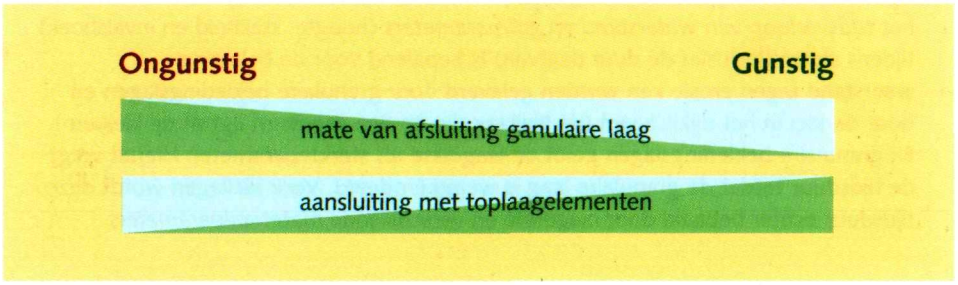
Een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie kan op twee manieren een ongunstige invloed hebben op de aansluitende bekleding. Ten eerste kan de drukvoortplanting onder de toplaag worden geblokkeerd; de resulterende toename van de waterdruk onder de toplaag is van belang voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. Ten tweede kan de aansluiting met de steenzetting niet goed zijn; dit leidt tot een grotere kans op materiaaltransport, en kan leiden tot toplaaginstabiliteit door vermindering van wrijving en klemming. Beide verschijnselen zijn vooral van belang voor horizontale overgangsconstructies en voor aansluitingsconstructies. Vier voorbeelden zijn weergegeven in figuur 2.18; 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 2.18
Ongunstige invloed van overgangsconstructies

Parameters
Voor de invloed op de aansluitende bekleding zijn de parameters zoals genoemd onder toplaaginstabiliteit en materiaaltransport van belang, zie 2.2 en 2.4. Daarnaast zijn enkele specifieke eigenschappen van de overgangsconstructie van belang, zie figuur 2.19.

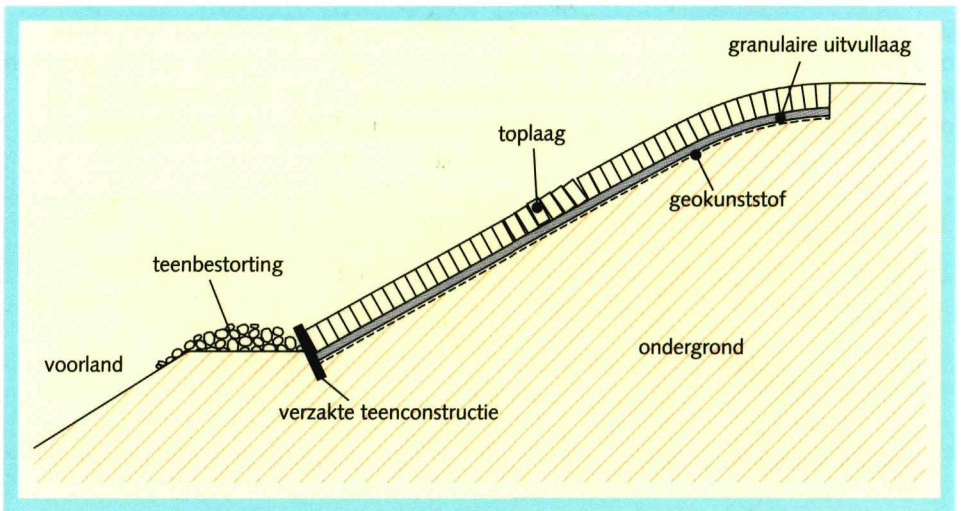


Figuur 2.19
Parameters invloed overgangsconstructies

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.

2.8.2 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 2.20. Zoals een steenzetting tegen een teen- of overgangsconstructie rust, zo rust een teenconstructie tegen een onderliggende teenbestorting én is gefundeerd in de bodem. Het verdwijnen van deze ondersteuning (bijvoorbeeld door ontgronding) kan leiden tot falen van de teenconstructie.



Figuur 2.20
Faalmechanisme 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.

SECTIE II Toetsingsproces

3 VOORBEREIDING TOETSING

4 TOETSING VAN STEENZETTINGEN

5 TOETSING VAN AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN

6 TOETSING VAN TEEN-, OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES

7 OMGAAN MET TOETSINGSRESULTATEN

VIER STAPPEN IN HET TOETSINGSPROCES

In deze sectie, sectie II, wordt het toetsingsproces van een steenzetting beschreven.

De levenscyclus van een bekledingssysteem loopt van ontwerp, bestek en uitvoering naar ingebruikname en beheer. Toetsing is onderdeel van het beheer, in ieder geval bij primaire waterkeringen.

De toetsing van een steenzetting zal in de praktijk niet altijd lineair verlopen. Toch is het nuttig om een lineair toetsingsproces te schetsen voor de presentatie van de activiteiten die onderdeel zijn van de toetsing. Dit standaardproces moet worden gezien als richtsnoer voor de gebruiker, dus nadrukkelijk niet als voorschrift.

In het toetsingsproces worden in grote lijnen vier stappen onderscheiden:
1 Gegevensverzameling;
2 Vaststellen vakindeling;
3 Toetsing;
4 Omgaan met toetsingsresultaten.

Stap 1 en 2 horen tot de voorbereiding en worden in hoofdstuk 3 besproken. De toetsregels staan in de volgende 3 hoofdstukken, uitgesplitst naar
- Toetsing van steenzettingen (H4),
- Toetsing van aanverwante bekledingstypen (H5) en
- Toetsing van aangrenzende constructies (H6).

Hoofdstuk 7, ten slotte, gaat over de omgang met de resultaten van de toetsing.

Op de rechteruitvouw van dit rapport staat een overzicht van de relatie tussen het toetsingsproces en de komende vijf hoofdstukken:

H.3 Voorbereiding toetsing
H.4 Toetsing steenzetting
H.5 Toetsing aanverwante bekledingstypen
H.6 Toetsing aangrenzende constructies
H.7 Omgaan met toetsingsresultaten

Kader 3.1

3 Voorbereiding toetsing



zie ook het uitvouwblad

In dit hoofdstuk wordt eerst aandacht besteed aan de twee werkwijzen die bij het toetsingsproces mogelijk zijn (3.1). Vervolgens worden vijf niveaus van gegevensverzamelen besproken (3.2). Het hoofdstuk wordt afgesloten met richtlijnen en aandachtspunten voor de vakindeling voor de toetsing van steenzettingen (3.3)

3.1 TWEE WERKWIJZEN: LINEAIR EN ITERATIEF

Voor de eerste drie stappen van het toetsingsproces (gegevensverzameling, vakindeling en toetsing) geldt dat ze meer of minder gedetailleerd kunnen worden uitgevoerd:
- Bij gegevensverzameling kan worden volstaan met de al beschikbare of makkelijk te bepalen gegevens, maar er kan ook uitgebreid veldonderzoek worden verricht; in 3.2 worden hiervoor vijf niveaus onderscheiden. Overigens kan dit ook gelden voor de hydraulische randvoorwaarden: er kan worden volstaan met de golfrandvoorwaarden op diep water, maar het is soms ook mogelijk om de reducerende invloed van het voorland te berekenen (zie bijlage A.1).
- Bij de toetsvakindeling kan worden volstaan met een grove indeling met weinig vakken, maar er kan ook worden gewerkt met een zeer gedetailleerde indeling; in 3.3 wordt dit nader uitgewerkt.
- Bij de toetsing kan worden gewerkt met eenvoudige, gedetailleerde of geavanceerde methoden (zie hoofdstuk 4).

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

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

Het werken volgens een lineair proces heeft als nadeel dat inspanningen worden geleverd die (gedeeltelijk) achteraf voor de toetsing niet nodig blijken te zijn. Bovendien is het mogelijk dat uit de toetsing blijkt dat alsnog meer gegevens nodig zijn. Maar het heeft ook voordelen om te werken volgens een lineair proces:
- de totale doorlooptijd tot aan het toetsresultaat is korter;
- één grote inventarisatie is efficiënter dan een aantal kleine inventarisaties;
- de beheerder verkrijgt gegevens die ook nuttig kunnen zijn als eenvoudige toetsing wel volstaat (ten behoeve van verbeteringswerken of legger/beheersregister).

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

Toetsing volgens lineair proces

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

Toetsing volgens iteratief proces

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

Stap 1 Alle reeds beschikbare gegevens worden bijeengebracht en eventueel worden 'oppervlakkige' gegevens verzameld.

Stap 2 Op basis van de beschikbare gegevens wordt een praktische, relatief grove vakindeling vastgesteld.

Stap 3 De toetsing wordt uitgevoerd tot het niveau dat haalbaar is met de beschikbare gegevens (eenvoudige of gedetailleerde toetsing).

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

- Als het toetsresultaat 'goed' is, ondanks de conservatieve benadering, is verdere detaillering van het betreffende toetsvak niet nodig.
- Als het toetsresultaat 'onvoldoende' is, kan het zinvol zijn de toetsvakindeling te detailleren om het 'onvoldoende' deel van de steenzetting als het ware te isoleren (zie 3.2). Hiervoor zijn gegevens nodig van hetzelfde niveau als in Iteratie A, maar met een grotere meetdichtheid ('verfijning').
- Als het toetsresultaat 'twijfelachtig' is, moeten toetsregels van een hoger niveau worden gebruikt, waarbij meestal ook gegevensverzameling van een nauwkeuriger niveau nodig is: 'verdieping' van de gegevens (zie 3.3). Daarnaast kan het ook bij een score 'twijfelachtig' zinvol zijn de gegevens te verfijnen, om de 'twijfelachtige' steenzetting te isoleren en het nader te onderzoeken vak te verkleinen, zie kader 4.3.

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

Het cyclische proces moet in elk geval doorgaan totdat er geen toetsvakken meer zijn met een score 'twijfelachtig'. Voor toetsvakken met een score 'onvoldoende' moet per iteratie worden besloten of verdere verfijning van de vakindeling zinvol is (zie kader 4.3).

3.2 VERZAMELEN VAN GEGEVENS

In deze paragraaf wordt het soort gegevens dat bij een meetpunt kan worden verzameld besproken. Het gaat dus om de diepgang van de gegevens. De ruimtelijke verdeling van de gegevens houdt direct verband met de vakindeling en wordt afzonderlijk behandeld.

Vijf niveaus van gegevensverzameling

Per toetsingsniveau neemt de gegevensbehoefte toe. De eenvoudige toetsing kan worden uitgevoerd met weinig gegevens die makkelijk te vinden zijn. Voor gedetailleerde toetsing zijn meestal al metingen van constructieparameters in het veld nodig. Geavanceerde toetsing vraagt nog meer gegevens, bijvoorbeeld resultaten van proeven die in het laboratorium of op de dijk worden uitgevoerd. Er worden vijf praktische niveaus van gegevensverzameling onderscheiden:

1 inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens en gebruik van standaardwaarden;
2 niet-destructieve inspectie op de dijk;
3 openbreken van de bekleding;
4 laboratoriumonderzoek;
5 gegevens voor geavanceerde toetsing.

Deze vijf niveaus zijn herkenbaar aan de verschillende 'wijzen van bepalen' die worden besproken in bijlage A (Parameters). Het overschakelen naar een nauwkeuriger niveau van gegevensverzameling wordt aangeduid als 'verdieping'. In de praktijk wordt overigens vaak gewerkt met gegevensinwinformulieren. Voorbeelden hiervan zijn opgenomen in sectie III.

niveau 1 inventarisatie van archief- en beheerdersgegevens

Het kenmerk van het eerste niveau is dat de gegevens kunnen worden verzameld zonder veldwerk. Als de beschikbare gegevens een goed beeld geven van de actuele toestand, is het mogelijk op deze wijze alle benodigde gegevens te verzamelen. Als meetresultaten beschikbaar zijn, moeten ze recent zijn en de meetdichtheid moet voldoende zijn (zie 3.3). Voor revisiegegevens gelden dezelfde voorwaarden. Besteksgegevens kunnen in sommige gevallen dienen als een conservatieve benadering van de werkelijke waarden, maar dan moet aangetoond zijn dat het werk conform de bestekseisen is uitgevoerd. Voor veel parameters zijn veilige standaardwaarden beschikbaar (zie bijlage A), die in eerste instantie kunnen worden gebruikt voor de toetsing. Overigens moet voorzichtig worden omgegaan met de gegevens van niveau 1. Aanbevolen wordt om in ieder geval een steekproefsgewijze controle uit te voeren in het veld (niveau 2 of nauwkeuriger).

niveau 2 niet-destructieve inspectie in het veld

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

niveau 3 openbreken van de bekleding
Een belangrijk omslagpunt in de afweging is het openbreken van de bekleding. Als de toplaagdikte (nodig voor eenvoudige toetsing) alleen kan worden bepaald door het openbreken van de bekleding, ligt het voor de hand om direct ook andere gegevens te verzamelen, die pas bij gedetailleerde toetsing of later nodig zijn: dikte en opbouw van de granulaire laag, doorlatendheid, eigenschappen van een eventueel geokunststof, laagdikte en aard van het basismateriaal. Het kan dus nuttig zijn om alvast gegevens te verzamelen ten behoeve van het laboratoriumonderzoek van niveau 4. In sectie III worden enkele voorbeelden gegeven van inwinformulieren voor dit niveau van gegevensverzameling.

niveau 4 laboratoriumonderzoek
Een volgend omslagpunt is laboratoriumonderzoek, inclusief het verzamelen van monsters. Dit kan nodig zijn ter verificatie van standaardwaarden, van bijvoorbeeld dichtheid van toplaagelementen en eigenschappen van granulair materiaal. In het algemeen wordt dit niveau van gegevensverzameling gebruikt voor gedetailleerde of geavanceerde toetsing. Specifiek is laboratoriumonderzoek nodig ter bepaling van de eigenschappen van klei, nodig bij een eventuele toetsing op erosie van de onderlagen (reststerkte).

niveau 5 gegevens voor geavanceerde toetsing
De gegevensbehoefte voor geavanceerde toetsing is zeer lokaal en specifiek: deze gegevens worden in principe pas verzameld als geavanceerde toetsing nodig is. Vaak worden hiervoor proeven op de dijk uitgevoerd (trekproeven, doorlatendheidsmetingen, metingen van de waterspanningen in de granulaire laag gedurende een getij of een storm). Daarnaast worden de constructieparameters in meer detail en lokaal bepaald, waarbij gebruik gemaakt wordt van de methodes van niveau 2, 3 en 4.

3.3 VASTSTELLEN VAKINDELING

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

RELATIE MET HET VTV (DE LTV)

In het VTV (de LTV) wordt het opdelen van het keringstelsel behandeld in katern 2. Het VTV geeft aan dat de vakindeling gebaseerd wordt op de gegevens in legger en beheersregister. Voor elk toetsspoor kan een verschillende vakindeling nodig zijn. Het type en de plaats van de bekledingen vormen één van de kenmerken die de vakindeling van dammen en dijken kunnen bepalen. Aangezien in het VTV niet verder wordt ingegaan op de vakindeling voor elk toetsspoor, worden in deze paragraaf richtlijnen en aandachtspunten gegeven voor het vaststellen van de vakindeling ten behoeve van de toetsing van steenzettingen.

Kader 3.2

3.3.1 Toetsvakindeling op basis van beschikbare gegevens

Een toetsvak is gedefinieerd als een gedeelte van de bekleding waarvoor in de toetsing wordt aangenomen dat de kenmerken en randvoorwaarden (bij benadering) constant

zijn. Binnen één toetsvak wordt dus voor elke toetsparameter één waarde vastgesteld, op basis van de beschikbare en verzamelde gegevens. De waarden van de parameters moeten zodanig worden gekozen dat de toetsing geldig is voor het meest kritieke deel van het toetsvak. In de praktijk betekent dit dat voor elke toetsparameter wordt gerekend met de meest ongunstige waarde die in het toetsvak bekend is. Daaruit volgt dat het nuttig is om de toetsvakindeling met zorg te bepalen.

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

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

Verwezen wordt naar het iteratieve proces uit 3.1: op grond van de toetsresultaten na de eerste iteratie kan worden besloten de meetdichtheid te vergroten (verfijning) en/of een nauwkeuriger niveau van gegevensverzameling toe te passen: verdieping, zie 3.2. Een grotere meetdichtheid leidt tot betere informatie over de parameters en kan daardoor een meer gedetailleerde toetsvakindeling mogelijk maken.

3.3.2 Globale toetsvakindeling

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

Vanzelfsprekend moeten de toetsvakken zo worden gekozen dat binnen één toetsvak slechts één *bekledingstype* voorkomt. Daarbij gaat het om het toplaagtype (inclusief dikte en dichtheid) maar ook om de aard van de lagen daaronder (al dan niet een granulaire laag, enkele of dubbele granulaire laag, al dan niet een geokunststof of vlijlaag). Het bekledingstype is bepalend voor de vakindeling omdat voor verschillende bekledingstypen soms verschillende rekenmethoden gelden en omdat de waarden van de toetsparameters bijna altijd verschillen. Verdere detaillering is mogelijk, in lengte- en in hoogterichting, op basis van meer gegevens over de toetsparameters, zie kader 4.3.

De *hydraulische randvoorwaarden* worden aangeleverd in de vorm van tabellen, of worden berekend met de Hydra-programmatuur, zie bijlage A.1. In beide gevallen volgt uit de aangeleverde gegevens een vakindeling in lengterichting. De bijbehorende vakgrenzen zijn vaak logische punten zoals bochten in de dijk of overgangen in het voorland. Ook bij lange eenvormige stukken wordt gewerkt met vakken, met een lengte van enkele kilometers. In zo'n geval wordt de vakgrens halverwege de uitvoerpunten van de golfberekening gelegd. Als de vakgrens ter plaatse van een bocht of een andere

overgang ligt, moet worden gekozen welke randvoorwaarden in de bocht zelf worden toegepast. In eerste instantie moet voor een bocht of overgang de zwaardere van de twee aangrenzende randvoorwaarden worden gebruikt. Voor eventuele detaillering in lengte- en hoogterichting, zie kader 4.3.

Als in het buitentalud een *berm* aanwezig is, kunnen al bij de globale toetsvakindeling drie vakken worden onderscheiden: onder, op en boven de berm. Voor mogelijke verdere detaillering in hoogterichting in verband met de maatgevende waterstand, zie kader 4.3.

HET NUT VAN VERDERE DETAILLERING

In 3.1 is aangegeven dat uit de toetsingsresultaten kan volgen dat detaillering van de toetsvakindeling nodig of zinvol is:
- Als het toetsresultaat 'goed' is, ondanks de conservatieve benadering, is verdere detaillering van het betreffende toetsvak niet nodig.
- Als het toetsresultaat 'onvoldoende' is, kan het zinvol zijn de toetsvakindeling te detailleren om de 'onvoldoende' steenzetting als het ware te isoleren. Bij de meetlocatie blijft de score 'onvoldoende', maar in de rest van het toetsvak kan de constructie in werkelijkheid gunstiger zijn. Deze detaillering is vooral zinvol als de parameterwaarden naar schatting sterk variëren (bijvoorbeeld bij oude constructies of een toplaag van natuursteen) en als het toetsresultaat net 'onvoldoende' is.
- Als het toetsresultaat 'twijfelachtig' is, moeten toetsregels van een hoger niveau worden gebruikt, waarvoor meestal ook nauwkeuriger gegevensverzameling nodig is (zie de niveaus in 3.2). Daarnaast kan het ook bij een score 'twijfelachtig' zinvol zijn de toetsvakindeling te detailleren om de 'twijfelachtige' steenzetting te isoleren en daarmee het nader te onderzoeken vak te verkleinen. Dit is vooral zinvol als het weinig moeite kost de vakindeling te detailleren (gegevensverzameling van een laag niveau), terwijl gegevensverzameling en toetsing van een hoger niveau juist veel moeite kost (laboratoriumonderzoek, geavanceerde toetsing).

Kader 3.3

3.3.3 Detaillering toetsvakindeling

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

bekledingskenmerken

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

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

- inzanding/inslibbing vanaf het voorland reikt slechts tot een bepaalde hoogte (bijvoorbeeld gemiddeld hoogwater); het is verstandig zo'n ingezande bekleding als aparte strook te toetsen;
- de dikte van de granulaire laag is onderin de bekleding vaak groter dan bovenin. Een mogelijke oorzaak is dat tijdens de uitvoering onderin de bekleding met opzet extra granulair materiaal is aangebracht om de taludhelling te verflauwen;
- de opbouw van basismateriaal en onderlagen kan in verticale richting variëren, bijvoorbeeld als gevolg van de ontstaansgeschiedenis van de dijk (bijvoorbeeld oorspronkelijk een lage kleidijk, later verhoogd en verbreed met zand).

taludhelling

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

golfrandvoorwaarden

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

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

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

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

4 Toetsing van steenzettingen

zie ook het uitvouwblad

Per onderdeel wordt in de kantlijn aangegeven of voor de berekening Steentoets (versie 3.32) of ANAMOS kan worden gebruikt

In dit hoofdstuk staan de toetsregels voor steenzettingen. De drie hoofdfaalmechanismen toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport zijn vertaald naar vijf beoordelingssporen. Daarnaast wordt soms aansluitend getoetst op erosie van de onderlagen. De parameters staan in bijlage A. De regels in dit hoofdstuk zijn geldig voor steenzettingen met een toplaag van standaardelementen: niet-onderling verbonden, in verband gezette, massieve zuilen of blokken. De toetsregels voor aanverwante bekledingstypen staan in hoofdstuk 5. De toetsing van overgangsconstructies én van hun invloed op de aansluitende bekleding wordt behandeld in hoofdstuk 6.

4.1 STROOMSCHEMA'S TOETSING STEENZETTINGEN

Teen-, overgangs- en aansluitingsconstructies worden niet getoetst volgens deze schema's, maar volgens de regels in hoofdstuk 6.

Voor de toetsing van steenzettingen wordt onderscheid gemaakt tussen bekleding onder Toetspeil (zone A) en bekleding boven Toetspeil (zone B). In het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* (VTV) staat één hoofdschema met beide zones; in dit technisch rapport is dat hoofdschema opgedeeld in twee stroomschema's. Figuur 4.1 toont het stroomschema voor de toetsing van steenzettingen onder Toetspeil. In figuur 4.2 wordt de toetsing van steenzettingen boven Toetspeil weergegeven. De stroomschema's geven aan in welke gevallen de steenzetting op welke sporen moet worden getoetst en op welke manier de scores van de sporen moeten worden gecombineerd om tot een eindscore te komen. In figuur 4.1 worden zes beoordelingssporen onderscheiden: vijf beoordelingssporen voor de bekleding zelf en de bijbehorende toetsing op erosie van de onderlagen.

De stroomschema's zijn alleen bedoeld voor toetsing van steenzettingen op hydraulische faalmechanismen. Er bestaan geen regels voor het beoordelen van de gevolgen van scheepsaanvaring. In de toetsingsrapportage moet echter wél worden aangegeven welke locaties hiervoor gevoelig zijn.

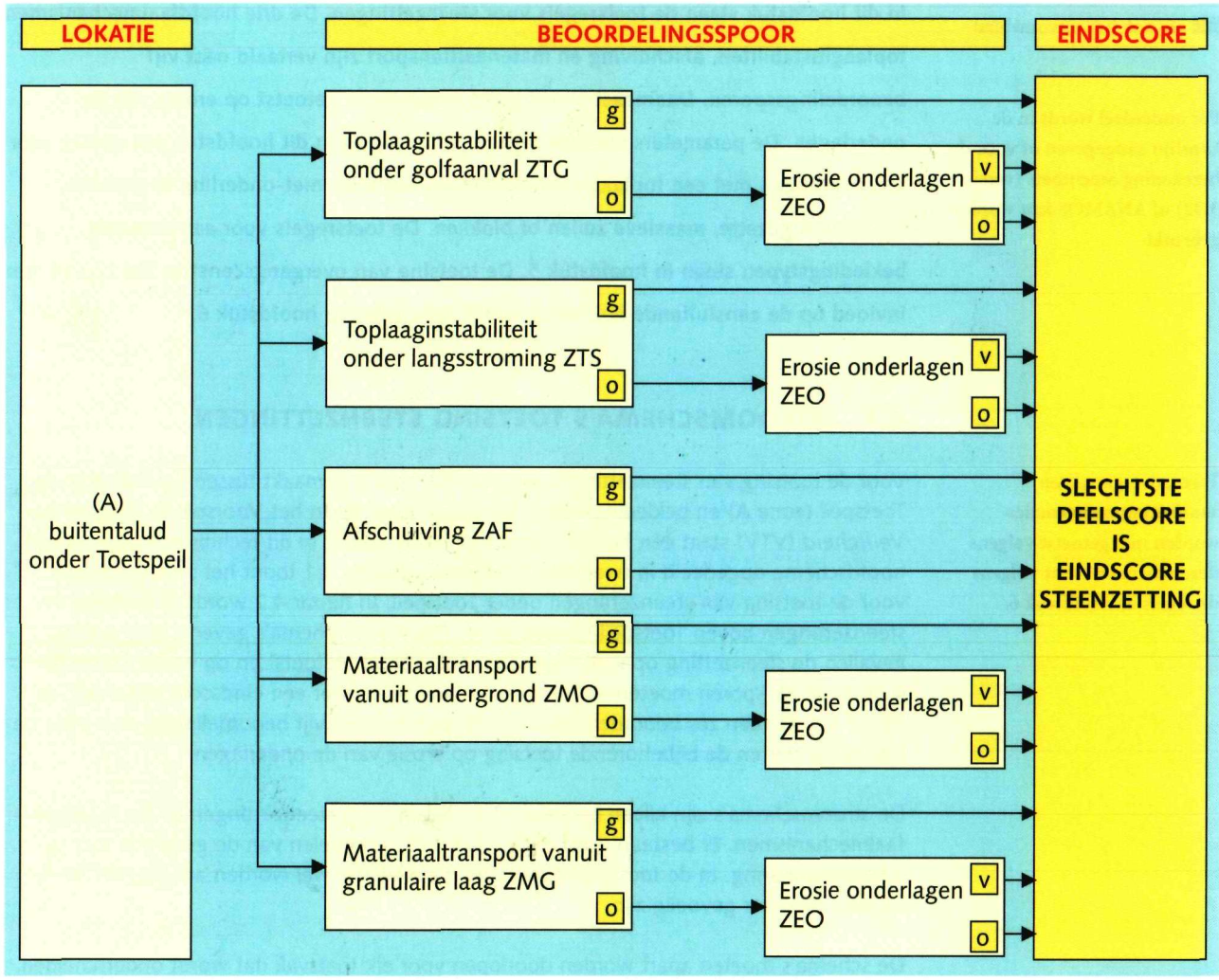
De schema's moeten apart worden doorlopen voor elk toetsvak dat wordt onderscheiden. Achtereenvolgens worden de stroomschema's van zone A en zone B besproken.

Zone A buitentalud onder Toetspeil

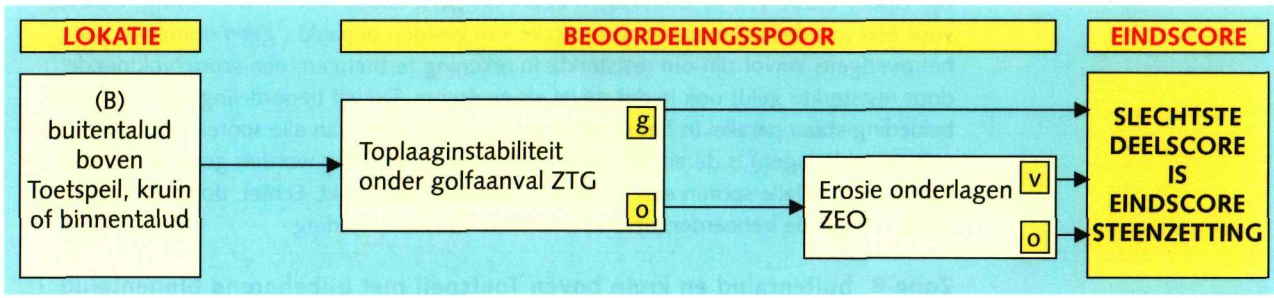
Een steenzetting in zone A moet worden beoordeeld op vijf sporen (zie figuur 4.1). De letter Z in de afkortingen staat voor Zetsteen. Na een score 'onvoldoende' op vier van deze vijf sporen kan worden getoetst of de onderlagen voldoende erosiebestendig zijn (spoor erosie van de onderlagen ZEO); dit geldt alleen niet bij afschuiving. Ook als voor één van deze vier sporen geen score kan worden bepaald ('geen oordeel'), kan het overigens zinvol zijn om reststerkte in rekening te brengen: een score 'voldoende' door reststerkte geldt ook in dat geval als eindscore. De vijf beoordelingssporen van de bekleding staan parallel in het schema: de slechtste score van alle sporen (inclusief erosie van de onderlagen) is de eindscore. Formeel kan de toetsing worden gestopt als voor één van deze parallelle sporen een score 'onvoldoende' is bereikt. Echter, door alle sporen te toetsen krijgt de beheerder inzicht in de staat van de bekleding.

Zone B buitentalud en kruin boven Toetspeil met bijbehorend binnentalud

Voor een steenzetting in zone B is alleen toplaaginstabiliteit onder golfaanval van belang (zie figuur 4.2). Toetsing op de vier andere sporen is niet nodig voor deze zone. Bij een score 'onvoldoende' op toplaaginstabiliteit onder golfaanval kan ook voor deze zone worden getoetst op erosie van de onderlagen.



Figuur 4.1 Stroomschema voor de toetsing van steenzettingen onder Toetspeil



Figuur 4.2 Stroomschema voor de toetsing van steenzettingen boven Toetspeil

4.2 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL ZTG

Toplaaginstabiliteit onder golfaanval en onder langsstroming worden behandeld als parallelle toetssporen: beide sporen moeten worden doorlopen en de slechtste score telt. Daarbij wordt verondersteld dat de maatgevende golfbelasting en sterke stroming op het buitentalud niet samengaan, zodat niet hoeft te worden getoetst op de combinatie van beide belastingen.

4.2.1 Zone-indeling talud

Toetsing op toplaaginstabiliteit is van belang voor zone A en B (onder en boven Toetspeil). Binnen zowel zone A als B wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende situaties waarvoor verschillende toetsregels gelden, afhankelijk van de berminvloed. De volgende taludzones worden onderscheiden (zie kader 4.1):

- A1: buitentalud onder Toetspeil zonder berminvloed (4.2.2);
- B1: buitentalud boven Toetspeil zonder berminvloed (4.2.3);
- Berm (4.2.4);
- A2: buitentalud onder Toetspeil met berminvloed (4.2.5);
- B2: buitentalud boven Toetspeil met invloed van berm vlak onder Toetspeil (4.2.5);
- B3: buitentalud boven Toetspeil met invloed van hoge berm (4.2.5);
- B4: kruin en binnentalud (4.2.6).

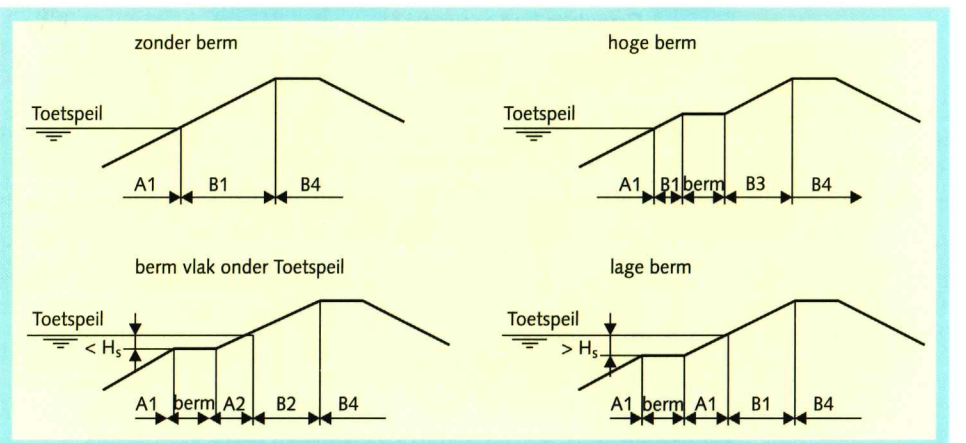
Kader 4.1

LIGGING VAN DE TALUDZONES

Het talud boven een buitenberm wordt verder aangeduid als het bovenbeloop. De ligging van de taludzones is afhankelijk van de aanwezigheid van een berm en het niveau van de berm ten opzichte van het Toetspeil. Er zijn vier mogelijke situaties:

- **dijk zonder buitenberm;**
- **dijk met hoge berm (boven Toetspeil);**
- **dijk met berm vlak onder Toetspeil (minder dan H_s onder Toetspeil);**
- **dijk met lage berm (meer dan H_s onder Toetspeil).**

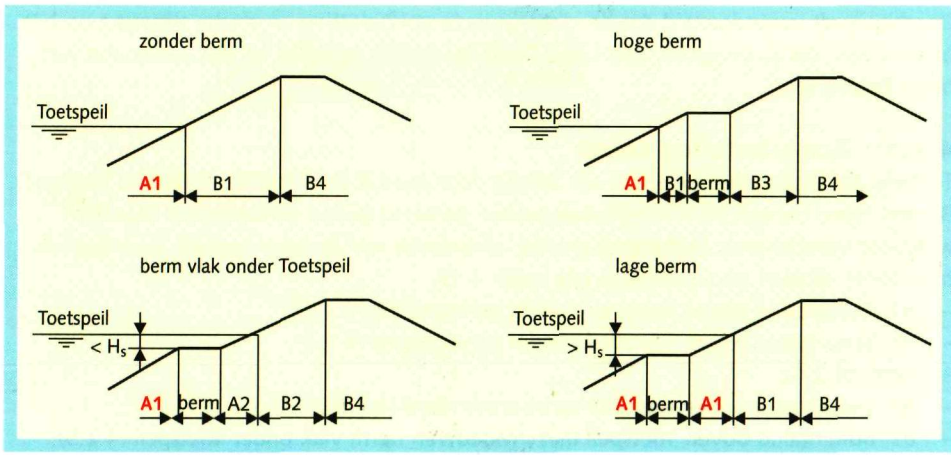
H_s is in dit geval de significante golfhoogte die hoort bij Toetspeil. Voor deze situaties zijn de verschillende zones aangegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.3
Zone-indeling voor toetsing op toplaaginstabiliteit

4.2.2 Zone A1: Buitentalud onder Toetspeil zonder berminvloed

In deze paragraaf wordt het talud onder Toetspeil zonder berminvloed besproken, zie figuur 4.4.

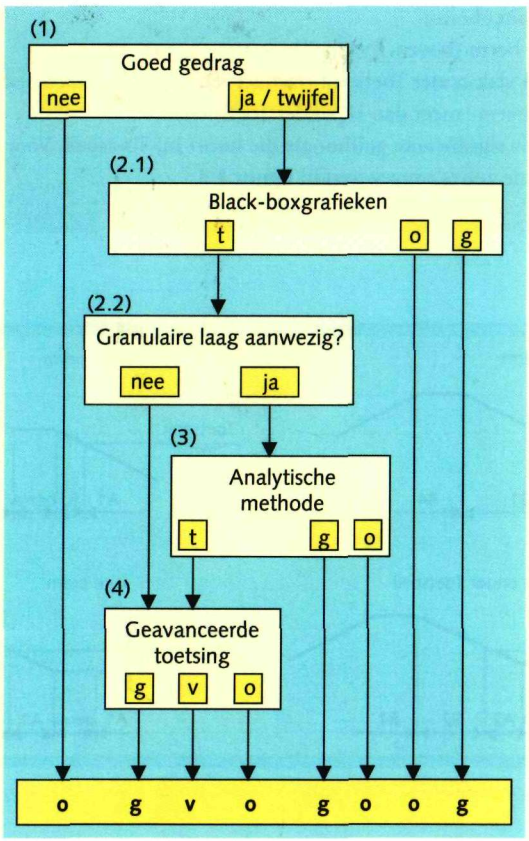


Figuur 4.4
De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: A1

Voor eventueel aanwezige bermen onder Toetspeil, zie 4.2.4; voor het bovenbeloop van taluds waarbij de berm minder dan H_s onder het Toetspeil ligt: zone A2, zie 4.2.5.

De toetsing in het kort

De eerste toetsingsstap betreft het gedrag. Vervolgens wordt de methode van de black-boxgrafieken toegepast (stap 2.1). Daaruit volgt een score 'goed', 'twijfelachtig' of



Figuur 4.5
Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit onder golfbelasting

'onvoldoende'. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet; het vervolg is afhankelijk van het type constructie (stap 2.2). Voor steenzettingen zonder granulaire laag is direct geavanceerde toetsing nodig (stap 4). Voor steenzettingen met een granulaire laag kan de analytische methode worden toegepast (stap 3), met als resultaat een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' kan ook voor dit type constructie een eindscore worden bepaald met geavanceerde toetsing. Dit is weergegeven in figuur 4.5.

In Steentoets 3.32 zijn stap 2 en 3 verwerkt.

Overgangsconstructies of aansluitingsconstructies die de granulaire laag afsluiten kunnen de kans op toplaaginstabiliteit vergroten voor de steenzettingen er direct onder. Verder kan een grote sprong in de waterdoorlatendheid ter plaatse van een overgang een ongunstige invloed hebben. Deze invloed wordt als een apart spoor behandeld in 6.1. Bij het spoor toplaaginstabiliteit onder golfbelasting wordt de steenzetting dus getoetst zonder de invloed van overgangsconstructies.

Stap 1 Gedrag

Op basis van het gedrag van de steenzetting kan een score 'onvoldoende' worden gegeven op toplaaginstabiliteit. Verwezen wordt naar kader 4.2.

TOETSING OP GEDRAG TEN AANZIEN VAN TOPLAAGINSTABILITEIT

Voor steenzettingen op elke zone van de dijk (buitentalud, kruin en binnentalud) geldt: bij de toetsing op toplaaginstabiliteit kan direct een score 'onvoldoende' worden gegeven als uit ervaring blijkt dat onder hydraulische belasting (bijvoorbeeld tijdens stormen) elementen uit de toplaag worden gelicht. In zo'n geval is het zeer waarschijnlijk dat hetzelfde (in ernstiger mate) gebeurt onder maatgevende omstandigheden. Minder ernstige schade, zoals vervormingen en verzakkingen, zijn in ieder geval een indicatie voor een gebrek van de constructie en kunnen wijzen op toplaaginstabiliteit, maar ook op andere faalmechanismen. Dit wordt behandeld bij de toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond, zie 4.5.
Het is voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit niet mogelijk op basis van goed gedrag te komen tot een positief toetsresultaat, omdat de doorstane belasting bijna altijd lager is dan de maatgevende belasting.

Kader 4.2

Stap 2 Black-boxgrafieken (eenvoudige toetsing)

stap 2.1 berekening

De rekenmethode in deze stap is gebaseerd op empirische relaties tussen de sterkteparameter H_s / ΔD en de belastingparameter ξ_{0p} (zie bijlage A.1.11: de brekerparameter die hoort bij de golflengte op diep water L_{0p}). Met modelproeven is vastgesteld bij welke verhouding tussen deze parameters de constructie zeker 'goed' en zeker 'onvoldoende' is. De grenzen zijn vastgelegd in de zogenaamde black-boxgrafieken.

In dit hoofdstuk worden alleen de toetsregels gegeven voor steenzettingen waarvan de toplaagelementen niet onderling verbonden zijn. Voor de toetsing van geschakelde steenzettingen, zie 5.1. Ook de invloed van penetratie van de toplaag met asfalt wordt niet behandeld, zie 5.4

De relatie tussen de belastingparameter en de sterkteparameter is afhankelijk van het type constructie. Eerst wordt dus het type constructie vastgesteld, vervolgens worden de voor dat type geldende toetsregels toegepast. Dit wordt eenvoudige toetsing genoemd. In figuren 4.6 tot en met 4.10 staan de toetsregels voor de volgende vijf typen, zowel in formulevorm als in grafische vorm:

1 steenzetting op geokunststof op zand of klei: zie figuur 4.6 voor toetsregels;
2 steenzetting op 'goede/erosiebestendige' klei (c1): zie figuur 4.7 voor toetsregels;
3a steenzetting op granulaire laag: gunstige constructies: zie figuur 4.8 voor toetsregels;
3b steenzetting op granulaire laag: normale constructies: zie figuur 4.9 voor toetsregels;
3c steenzetting op granulaire laag: ongunstige constructies: zie figuur 4.10 voor toetsregels.

Voor de definitie van 'goed/ erosiebestendig', zie bijlage A.7.3. Een steenzetting op 'matig erosiebestendige' of 'weinig erosiebestendige' klei (c2 en c3) kan voor toplaaginstabiliteit in principe op dezelfde manier worden getoetst, maar dat is niet zinvol omdat zo'n bekleding direct 'onvoldoende' scoort op het beoordelingsspoor materiaaltransport vanuit de ondergrond, zie 4.5.

INVLOED INGEZANDE/INGESLIBDE GRANULAIRE LAAG

De regels voor type 3 bevatten de parameter C_{slib} waarmee de gunstige invloed van een ingezande of ingeslibde granulaire laag kan worden verwerkt. In dat geval wordt de zone met tussenscore 'twijfelachtig' opgerekt doordat de grens tussen 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' 50% hoger wordt gelegd (C_{slib} = 1,5); voor een niet-ingezande of -ingeslibde granulaire laag geldt C_{slib} = 1,0. In de grafieken van figuur 4.8, figuur 4.9 en figuur 4.10 is uitgegaan van C_{slib} = 1,0. De grens voor de score 'goed' wordt niet beïnvloed door de parameter C_{slib}, omdat voor een score 'goed' op basis van inzanding of inslibbing eerst aangetoond moet worden dat deze ook in maatgevende omstandigheden aanwezig blijft; daarvoor is geavanceerde toetsing nodig.

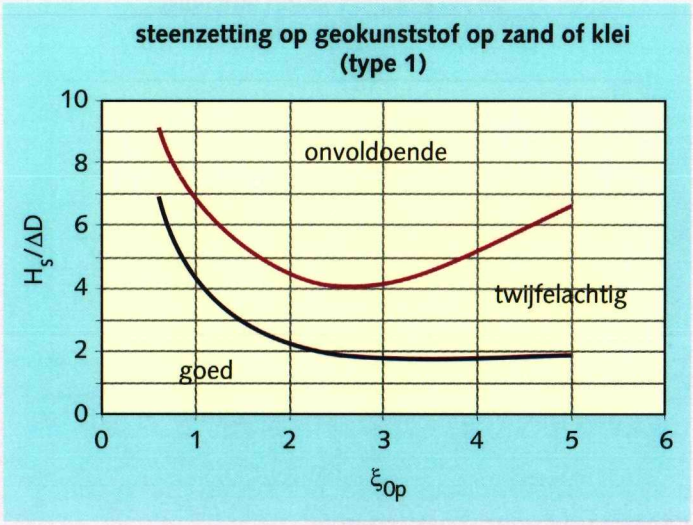
Kader 4.3

Voor type 3 geldt altijd:
- als de toplaag is ingezand/ingeslibd maar de granulaire laag (zie kader 4.3) niet, is direct geavanceerde toetsing nodig;
- een steenzetting waarvan de granulaire laag én de toplaag zijn ingezand/ingeslibd en waarvan de toplaag niet is ingewassen met granulair materiaal, hoort bij type 3c; overigens mag ook in dit geval de parameter C_{slib} op 1,5 worden gesteld;
- een steenzetting met een toplaag van Vilvoordse steen hoort bij type 3c;
- een steenzetting met een toplaag van Lessinese steen hoort niet bij type 3a; het hangt af van constructieve kenmerken of Lessinese steen bij type 3b of 3c hoort, zie hieronder.

Verder is de type-indeling (type 3a, 3b óf 3c) afhankelijk van constructieve kenmerken:
- Type 3a gunstige constructie: een relatief open toplaag en een dunne granulaire laag van fijn materiaal. Aan elk van de volgende drie voorwaarden moet worden voldaan:
  - groot open-ruimtepercentage: $\Omega > 3\%$, én
  - relatief dunne granulaire laag: $b_g < 0{,}5 \cdot D$, én
  - fijn granulair materiaal: $D_{15} < 10$ mm.

- Type 3b normale constructie: er moet aan één van de volgende vier voorwaarden worden voldaan:
  - dunne granulaire laag: $b_g < 0{,}5 \cdot D$, óf
  - gematigd dikke granulaire laag maar wel van fijn materiaal: $b_g \geq 0{,}5 \cdot D$ én $D_{15} < 5$ mm, óf
  - gematigd dikke granulaire laag maar wel een relatief open toplaag: $b_g \geq 0{,}5 \cdot D$ én $\Omega > 2\%$, óf
  - dikke granulaire laag maar wel van zeer fijn materiaal: $b_g \geq 0{,}7 \cdot D$ én $D_{15} < 3$ mm.

- Type 3c ongunstige constructie: er wordt niet voldaan aan de voorwaarden voor type 3a en 3b.



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D < 4{,}31\ \xi_{0p}^{-0{,}926}$

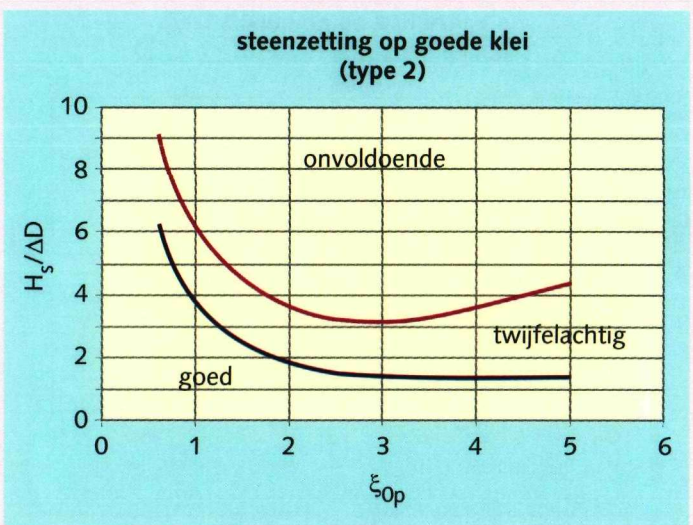
als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 11\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}09\ \xi_{0p} + 1{,}38$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D > 6{,}78\ \xi_{0p}^{-0{,}588}$

als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 17\ \xi_{0p}^{-2} + 1{,}84\ \xi_{0p} - 3{,}25$

Figuur 4.6
Toetsregels eenvoudige toetsing type 1



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}4$, dan $H_s/\Delta D < 3{,}75\ \xi_{0p}^{-1{,}001}$

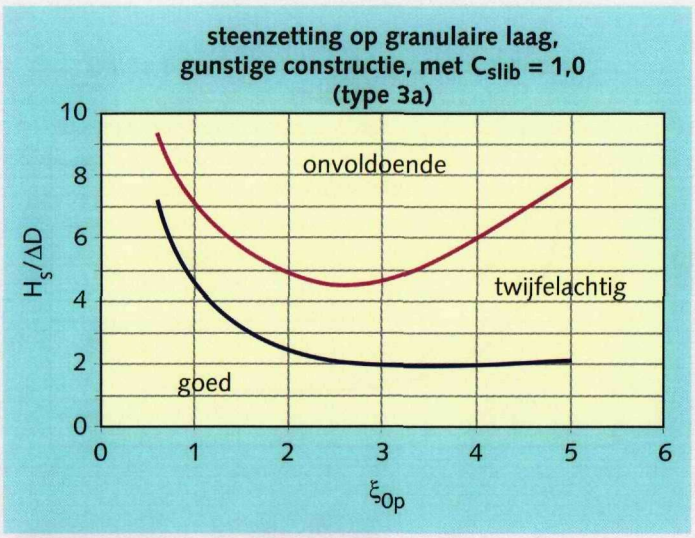
als $2{,}4 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 8\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}02\ \xi_{0p} + 1{,}25$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}1$, dan $H_s/\Delta D > 6{,}1\ \xi_{0p}^{-0{,}75}$

als $2{,}1 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 11\ \xi_{0p}^{-2} + 0{,}98\ \xi_{0p} - 1{,}0$

Figuur 4.7
Toetsregels eenvoudige toetsing type 2



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D < 4{,}58\ \xi_{0p}^{-0{,}903}$

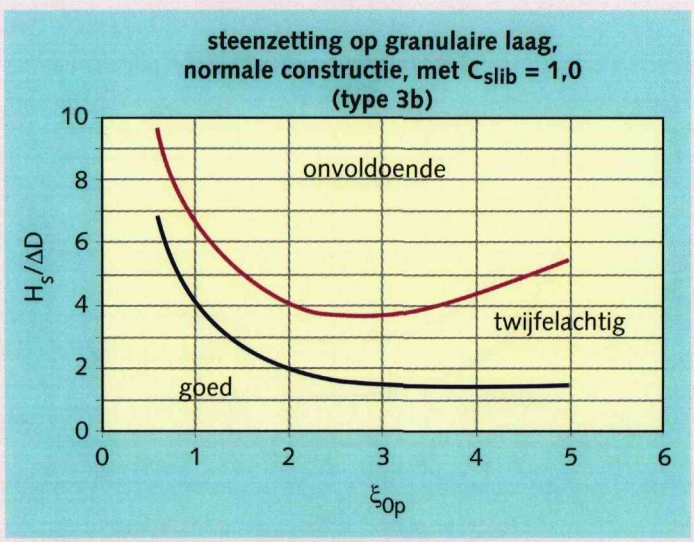
als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 14{,}5\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}17\ \xi_{0p} + 1{,}27$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D > 7{,}12\ C_{slib}\ \xi_{0p}^{-0{,}539}$

als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > C_{slib}(17{,}8\ \xi_{0p}^{-1{,}5} + 2{,}54\ \xi_{0p} - 6{,}32)$

Figuur 4.8
Toetsregels eenvoudige toetsing type 3a



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}0$, dan $H_s/\Delta D < 4{,}08\ \xi_{0p}^{-1{,}014}$

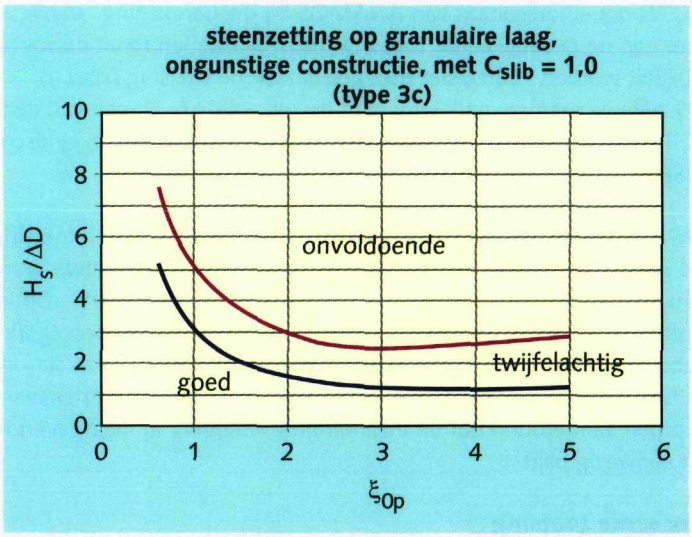
als $2{,}0 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 11{,}0\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}03\ \xi_{0p} + 1{,}25$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}1$, dan $H_s/\Delta D > 6{,}68\ C_{slib}\ \xi_{0p}^{-0{,}723}$

als $2{,}1 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > C_{slib}\ (12{,}0\ \xi_{0p}^{-1{,}5} + 1{,}5\ \xi_{0p} - 3{,}12)$

Figuur 4.9
Toetsregels eenvoudige toetsing type 3b



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}0$, dan $H_s/\Delta D < 3{,}07\ \xi_{0p}^{-1{,}014}$

als $2{,}0 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 6{,}5\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}02\ \xi_{0p} + 1{,}09$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}3$, dan $H_s/\Delta D > 5{,}08\ C_{slib}\ \xi_{0p}^{-0{,}785}$

als $2{,}3 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > C_{slib}\ (13{,}8\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}26\ \xi_{0p} + 1{,}53)$

Figuur 4.10
Toetsregels eenvoudige toetsing type 3c

stap 2.2 steenzetting met of zonder granulaire laag

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 2.1 hangt het vervolg van de toetsing af van het type constructie zoals gedefinieerd in stap 2.1. Voor steenzettingen op een granulaire laag (type 3) moet de toetsing worden voortgezet met de gedetailleerde methode (stap 3). Voor de overige steenzettingen (type 1 en 2) bestaat geen gedetailleerde methode en is bij een score 'twijfelachtig' geavanceerde toetsing nodig (stap 4).

Stap 3 Analytische methode (gedetailleerde toetsing)

Voor steenzettingen van type 3 (dus op een granulaire laag) kan de toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval worden uitgevoerd met de analytische methode. Het belangrijkste verschil met de eenvoudige toetsing is dat rekening wordt gehouden met de doorlatendheid van de toplaag en van de granulaire laag. Indien relevant moet ook rekening worden gehouden met de invloed van overgangsconstructies, maar dit wordt behandeld in het aparte beoordelingsspoor Invloed overgang op toplaaginstabiliteit, zie 6.1. De analytische methode is verwerkt in het computerprogramma ANAMOS, zie Achtergronden 3.4 voor onderbouwing. Toetsing volgens de analytische methode kan worden gezien als gedetailleerde toetsing.

Het gebruik van ANAMOS wordt beschreven in bijlage B. In het programma worden rekenwaarden ingevuld voor de golfrandvoorwaarden, de gegevens van de toplaag en de granulaire laag en de taludhelling. De andere invoerparameters van ANAMOS zijn niet van belang voor de toetsing op toplaaginstabiliteit (maar deels wel voor de toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond, zie 4.5).

Het resultaat van deze toetsing staat in de ANAMOS-uitvoer onder STABILITEIT TOPLAAG. Het programma berekent of de constructie bij de ingevoerde waarden stabiel of instabiel is. Het resultaat van de gedetailleerde toetsing wordt als volgt bepaald:

- Bij een rekenresultaat 'stabiel' is de toetsscore 'goed'. Dit is de eindscore voor toplaaginstabiliteit;
- Bij een rekenresultaat 'instabiel' moet de ANAMOS-berekening opnieuw worden uitgevoerd, maar dan met een toplaagdikte D die 1,5 maal zo groot is als de eigenlijke

rekenwaarde. Als het eindresultaat van ANAMOS bij die berekening 'stabiel' is, is de tussenscore van de gedetailleerde toetsing 'twijfelachtig' en moet de toetsing op toplaaginstabiliteit worden voortgezet met geavanceerde toetsing (stap 4);
- Als ANAMOS zelfs na vermenigvuldiging van de toplaagdikte D met 1,5, een eindresultaat 'instabiel' geeft is de toetsscore 'onvoldoende'. Dit is de eindscore voor toplaaginstabiliteit.

Net als in de eenvoudige toetsing van stap 2.1 kan in deze gedetailleerde toetsing rekening worden gehouden met de invloed van een ingezande of ingeslibde granulaire laag door verruiming van de zone met tussenscore 'twijfelachtig' met 50%. Dit kan worden gedaan door bij een rekenresultaat 'instabiel' in ANAMOS de toplaagdikte D niet met 1,5 (zie hierboven), maar met 2,25 te vermenigvuldigen. Ook in deze stap geldt dat de grens tussen 'twijfelachtig' en 'goed' niet wordt veranderd omdat met geavanceerde toetsing moet worden aangetoond dat de inzanding of inslibbing in maatgevende omstandigheden aanwezig blijft.

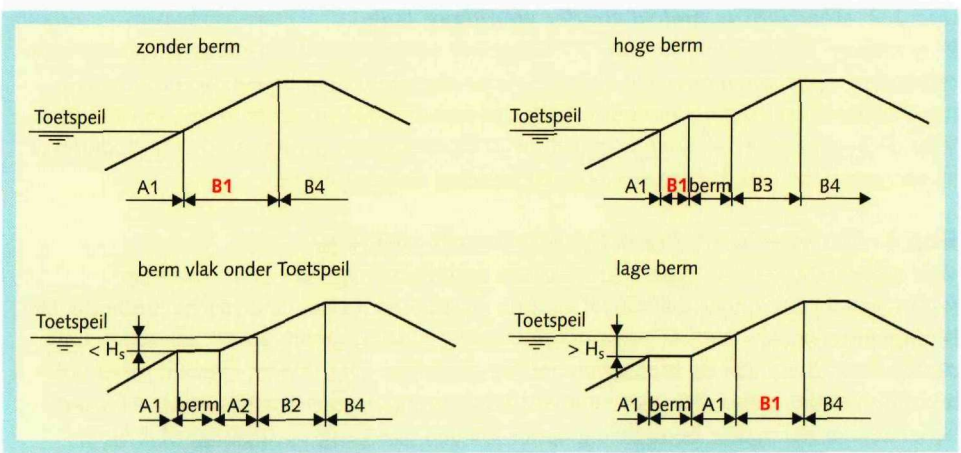
Stap 4 Geavanceerde toetsing

Bij een tussenscore 'twijfelachtig' na eenvoudige toetsing (voor steenzettingen zonder granulaire laag) of na gedetailleerde toetsing (voor steenzettingen met granulaire laag) wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing, zie Achtergronden 3.7 voor aandachtspunten. Als de tussenscore 'twijfelachtig' het gevolg is van een ingezande of ingeslibde granulaire laag, dan is dat een onderdeel van de geavanceerde toetsing.

4.2.3 Zone B1: Buitentalud boven Toetspeil zonder berminvloed

In deze paragraaf wordt het talud boven Toetspeil besproken voor de gevallen dat er geen buitenberm is, of dat de berm lager ligt dan Toetspeil – H_s, zie figuur 4.11.

Als het buitentalud een berm bevat boven Toetspeil-H_s, dan gelden voor het talud daarboven andere regels, zie 4.2.5.



Figuur 4.11
De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: B1

De golfbelasting boven Toetspeil is altijd veel kleiner dan onder Toetspeil. Voor de toetsregels, zie zone A1 in 4.2.2. Er zijn echter twee verschillen. Ten eerste kan bij het doorlopen van stap 2 en 3 worden gerekend met een toplaagdikte D die 25% groter is dan de toplaagdikte die werkelijk aanwezig is in zone B1. Verder wordt gerekend met de golfparameters die horen bij Toetspeil, en voor de overige parameters wordt gerekend met de werkelijk in zone B1 aanwezige waarden. Het tweede verschil is, dat na stap 2 en 3

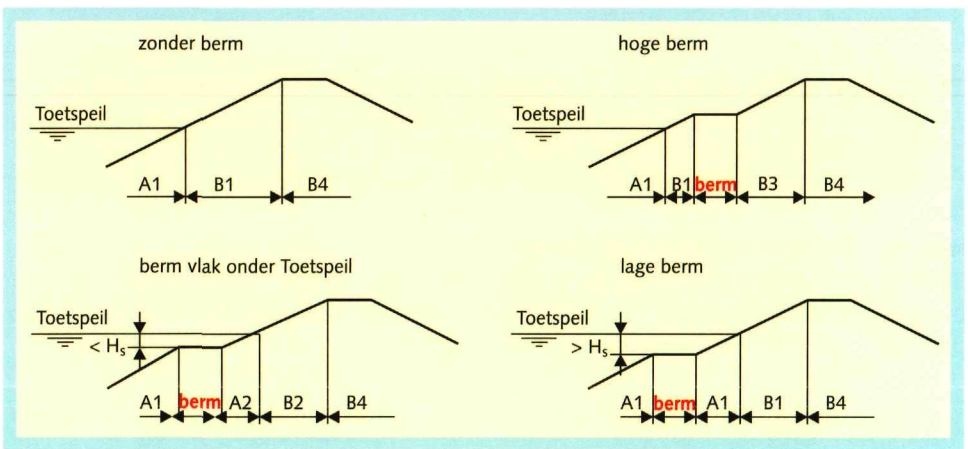
In Steentoets 3.32 kan een steenzetting boven Toetspeil + ½H_s niet 'onvoldoende' scoren: als het rekenresultaat 'onvoldoende' is geeft het programma aan dat geavanceerde toetsing nodig is. Er wordt dus wel rekening gehouden met de lichtere belasting, maar de grens ligt op een ander niveau en de gunstiger rekenregel is niet expliciet verwerkt.

voor deze zone geen eindscore 'onvoldoende' mogelijk is, omdat de regel conservatief is; als de score in stap 2 niet 'goed' is, wordt de toetsing voortgezet met stap 3. Als de score in stap 3 niet 'goed' is, wordt de toetsing voortgezet met geavanceerde toetsing in stap 4.

Vanaf het niveau Toetspeil + ½$z_{2\%}$ is de belasting zodanig beperkt, dat eventueel aanwezige steenzettingen per definitie een score 'goed' krijgen. Steenzettingen in deze zone waarvan de toplaag direct op klei staat, moeten nauwkeurig geïnspecteerd worden om te beoordelen of de steenzetting niet ondermijnd is (holten) en om vast te stellen dat de steenzetting er mooi vlak bij ligt. Alleen in dat geval kan de score 'goed' worden toegekend.

4.2.4 Zone Berm

Bermen kunnen zowel zwaarder als lichter worden belast dan een talud en kunnen zowel een positief als een negatief effect hebben op het talud erboven. Het is daarom belangrijk om deze effecten zorgvuldig in rekening te brengen. Deze paragraaf betreft de toetsing van steenzettingen op een berm in het gehele buitentalud, zowel onder als boven Toetspeil, zie figuur 4.12. Steenzettingen op taluds met berminvloed worden behandeld in de volgende paragrafen.



Figuur 4.12 De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: berm

Niet elke relatief vlakke strook in het buitentalud wordt in de toetsing behandeld als een berm. Stroken die over een breedte van minder dan H_s flauwer zijn dan 1:9 worden bijvoorbeeld niet behandeld als een berm. Zie kader 4.4 voor de definitie van bermen.

Bij de beoordeling van bermen moeten dezelfde stappen worden doorlopen als bij normale taluds, maar de invulling van de stappen wijkt in detail af. De toetsstappen voor bermen zijn hetzelfde als voor zone A1 en staan in het schema van figuur 4.5. Stap 1 (gedrag, kader 4.2) is ook inhoudelijk hetzelfde als voor zone A1. Vanaf stap 2 moet echter een aangepaste werkwijze worden gevolgd, want ten opzichte van een steenzetting op een talud zijn zowel de sterkte als de belasting verschillend.

Vanaf het niveau Toetspeil + ½$z_{2\%}$ is de belasting zodanig beperkt, dat eventueel aanwezige steenzettingen (ook op een berm) per definitie een score 'goed' krijgen.

De rekenmethode wordt beschreven in bijlage C. Met de methode worden twee parameters bepaald: de fictieve taludhelling α_{fict} en de bermfactor f_{berm}. Bij de toetsing van een steenzetting op een berm moet ten eerste de toplaagdikte van de steenzetting worden gedeeld door de bermfactor f_{berm}. Vervolgens kan de steenzetting met de *aangepaste toplaagdikte worden getoetst alsof die op een talud ligt met de fictieve helling* α_{fict}. Bij deze toetsing kunnen de regels uit 4.2.2 worden gebruikt: stap 2 (eenvoudige toetsing) en stap 3 (gedetailleerde toetsing).

DEFINITIE VAN BERMEN

Er worden twee typen bermen onderscheiden:
- type 1, stroken die zo breed zijn dat ze zeker als berm fungeren;
- type 2, stroken met tussenliggende breedte waardoor het niet zeker is of ze als berm fungeren.

Type 1 brede berm

Een strook die flauwer is dan 1:9 over een breedte van minimaal $2H_s$ wordt in alle gevallen behandeld als een berm.

Type 2 smalle berm

Een strook die flauwer is dan 1:9 over een breedte tussen H_s en $2H_s$ kan onder de volgende voorwaarden ook fungeren als een berm:
- de strook ligt lager dan Toetspeil;
- 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, deze parameter wordt gebruikt in de rekenmethode).

Omdat het bermeffect zowel positief als negatief kan zijn, moeten gevallen van type 2 in de toetsing als berm én als talud worden behandeld, waarna de zwaarste eis moet worden toegepast. Als de toetsing als berm de maatgevende eis oplevert, fungeert het betreffende talud als berm; in dat geval moet ook op het bovenbeloop rekening worden gehouden met de berminvloed (zone A2, B2 en B3, zie 4.2.5).

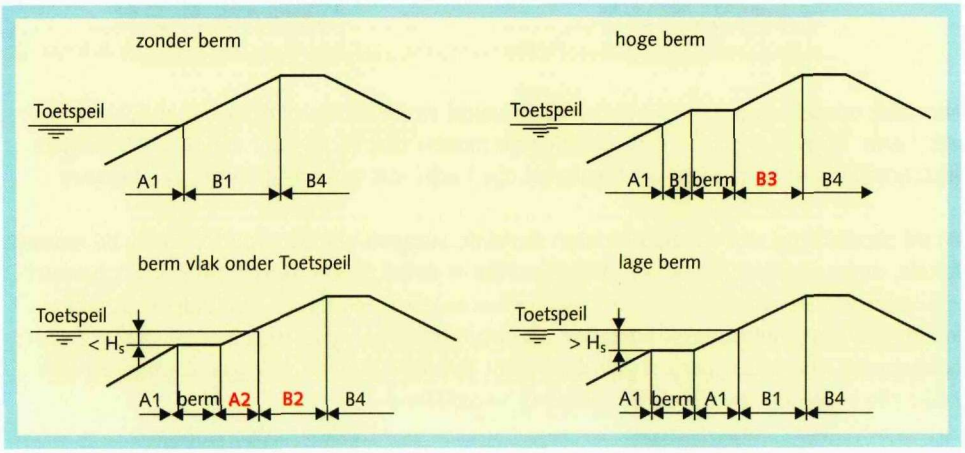
In Steentoets 3.32 is de rekenmethode voor bermen verwerkt.

Kader 4.4

4.2.5 Zones met berminvloed

Bij de toetsing hoeft alleen rekening te worden gehouden met de berminvloed als de berm hoger ligt dan Toetspeil – H_s. Als de berm lager ligt, dan wordt het talud erboven op dezelfde manier getoetst als een talud zonder berm (zone A1 of B1), zie figuur 4.13.

De invloed van bermen op het bovenbeloop is niet verwerkt in Steentoets 3.32.



Figuur 4.13
De zones die in deze paragraaf worden behandeld: A2, B2 en B3

Kortweg werkt de berminvloed onder en boven Toetspeil als volgt:
- bij een berm onder Toetspeil (maar minder dan H_s onder Toetspeil) moet het bovenbeloop zowel met als zonder berminvloed worden getoetst en geldt de lichtste van de twee eisen; dit geldt voor het gehele bovenloop, dus zowel onder als boven Toetspeil;
- bij een berm boven Toetspeil moet het talud erboven voldoen aan dezelfde eis als de steenzetting op de berm zelf.

Bermen onder Toetspeil en bermen boven Toetspeil worden apart behandeld

De toetsregels voor de zones A2, B2 en B3 worden hieronder apart behandeld.

Zone A2: Buitentalud onder Toetspeil met berminvloed

Zone A2 is het talud boven een berm waarbij de berm ligt tussen Toetspeil en Toetspeil – H_s, zie figuur 4.13. Een berm die niet te ver onder Toetspeil ligt heeft significante belastingreducerende invloed op de steenzetting erboven. Het principe van de toetsing voor deze zone is, dat de steenzetting moet voldoen aan de lichtste van twee eisen. De steenzetting wordt getoetst alsof die op de bijbehorende berm ligt (zie zone Berm, 4.2.4), én alsof de berm niet aanwezig is (zie zone A1, 4.2.2), en de gunstigste van de twee scores geldt als eindscore, zie ook de tekst in de linkermarge.

In de praktijk is het verstandig om vooraf te bedenken welke van de twee toetsingen naar verwachting het gunstigste resultaat geeft en het gemakkelijkst uitvoerbaar is. Als al bekend is dat de steenzetting op de bijbehorende berm een toetsingsscore 'goed' heeft, is het bijvoorbeeld het eenvoudigst om na te gaan of de toplaag in zone A2 minimaal even zwaar is als de toplaag op de bijbehorende berm, zodat direct ook een score 'goed' kan worden gegeven.

Kader 4.5

TOETSING VAN EEN STEENZETTING IN ZONE A2 ALSOF DEZE OP DE BIJBEHORENDE BERM LIGT

Deze toetsing werkt als volgt. Ten eerste worden de fictieve taludhelling α_{fict} en de bermfactor f_{berm} bepaald die horen bij de berm (dus níet bij een punt op het bovenbeloop), zie 4.2.4 en bijlage C. Vervolgens wordt de toplaagdikte van de steenzetting op het bovenbeloop (dus níet van de berm) gedeeld door de berekende bermfactor; voor de overige constructieve parameters worden gewoon de waarden van de steenzetting op het bovenbeloop zelf gebruikt. De steenzetting met de aangepaste toplaagdikte wordt getoetst alsof die op een talud ligt met de fictieve helling α_{fict}, volgens de eenvoudige en gedetailleerde toetsregels uit 4.2.2.

Zone B2: Buitentalud boven Toetspeil met invloed van berm vlak onder Toetspeil

Zone B2 is het talud boven een berm waarbij de berm ligt tussen Toetspeil en Toetspeil – H_s, zie figuur 4.13. Het principe van de toetsing is hetzelfde als voor zone A2: de steenzetting moet voldoen aan de lichtste van twee eisen. De steenzetting wordt getoetst alsof die op de bijbehorende berm ligt (zie zone Berm, 4.2.4), én alsof de berm niet aanwezig is (zie zone B1, 4.2.3). De gunstigste van de twee scores geldt als eindscore, zie ook de tekst in de linkermarge.

TOETSING VAN EEN STEENZETTING IN ZONE B2 ALSOF DEZE OP DE BIJBEHORENDE BERM LIGT

Deze toetsing werkt als volgt. Ten eerste worden de fictieve taludhelling α_{fict} en de bermfactor f_{berm} bepaald die horen bij de berm (dus niet bij een punt op het bovenbeloop). Vervolgens wordt de toplaagdikte van de steenzetting op het bovenbeloop gedeeld door de bermfactor en wordt de steenzetting met de aangepaste toplaagdikte getoetst alsof die op een talud ligt met de fictieve helling α_{fict}, volgens de eenvoudige en gedetailleerde toetsregels uit 4.2.2.

Kader 4.6

Voor alle zones op het buitentalud boven Toetspeil geldt dat vanaf het niveau Toetspeil + $\frac{1}{2}z_{2\%}$ de belasting zodanig beperkt is, dat aanwezige steenzettingen per definitie een score 'goed' krijgen.

Zone B3: Buitentalud boven Toetspeil met invloed van hoge berm

Deze paragraaf behandelt de toetsing van steenzettingen boven Toetspeil, boven een berm die ook boven Toetspeil ligt, zie figuur 4.13. Het principe van de toetsing is, dat de toplaag in deze zone minimaal even zwaar moet zijn als een steenzetting op de bijbehorende berm. Het is dus niet nodig om te voldoen aan de eisen voor een steenzetting op een talud zonder berminvloed (zone B1).

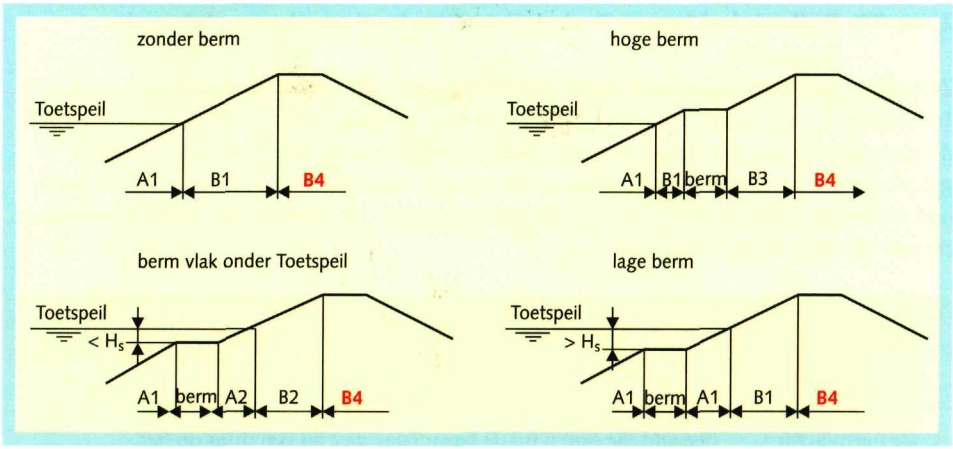
TOETSING VAN EEN STEENZETTING IN ZONE B3 ALSOF DIE OP DE BIJBEHORENDE BERM LIGT

Deze toetsing werkt als volgt. Ten eerste worden de fictieve taludhelling α_{fict} en de bermfactor f_{berm} bepaald die horen bij de berm (dus niet bij een punt op het bovenbeloop). Vervolgens wordt de toplaagdikte van de steenzetting op het bovenbeloop gedeeld door de bermfactor en wordt de steenzetting met de aangepaste toplaagdikte getoetst alsof die op een talud ligt met de fictieve helling α_{fict}, volgens de eenvoudige en gedetailleerde toetsregels uit 4.2.2.

Kader 4.7

4.2.6 Zone B4: Kruin en binnentalud

De zone B4 (zie figuur 4.14) kan van belang zijn voor de toetsing van de kruinhoogte, want als het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/m/s moet de invloed daarvan op het binnentalud worden getoetst.

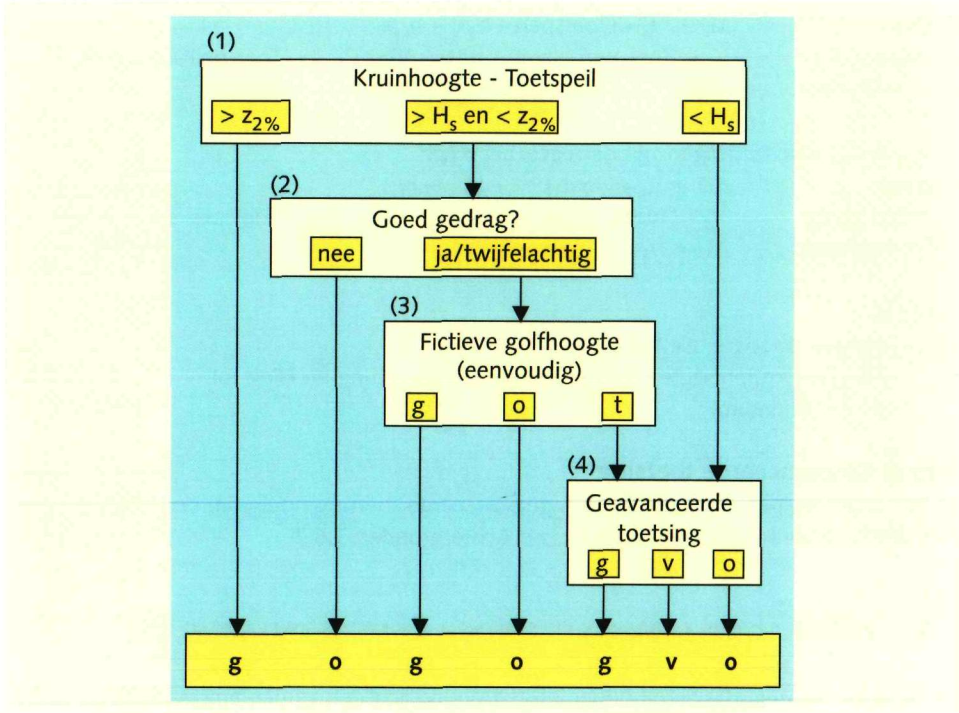


Figuur 4.14
De zone die in deze paragraaf wordt behandeld: B4

Op dijken en dammen komen steenzettingen op kruin of binnentalud zelden voor. Wel op voorliggende (haven-)dammen die onderdeel uit kunnen maken van de primaire waterkering. Als de belastingreducerende werking van de havendammen nodig is voor de veiligheid van de achterliggende waterkering, moeten ook de steenzettingen worden getoetst.

De toetsing bestaat uit vier stappen: voorselectie, gedrag, rekenmethode met fictieve golfhoogte en geavanceerde toetsing, zie figuur 4.15.

De toetsing van kruin en binnentalud is niet mogelijk met Steentoets 3.32.



Figuur 4.15 Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit kruin en binnentalud

Stap 1 Voorselectie

In de meeste gevallen is de belasting op kruin en binnentalud zodanig beperkt, dat eventueel aanwezige steenzettingen per definitie een score 'goed' krijgen. Hiervoor geldt de voorwaarde dat de kruin minimaal op Toetspeil + $z_{2\%}$ moet liggen (zie bijlage A.1.12). Dit is normaal gesproken het geval voor primaire waterkeringen.

Voor bijzonder lage kruinen zijn er geen uitgekristalliseerde rekenregels, zodat direct geavanceerde toetsing nodig is (stap 4). De regels van stap 2 en 3 zijn alleen toepasbaar als de kruin hoger ligt dan Toetspeil + H_s. Alleen in bijzondere gevallen, zoals havendammen, wordt hieraan niet voldaan.

Voor alle tussenliggende gevallen wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Stap 2 Gedrag

De toetsing aan de hand van het gedrag is ook voor deze zone behandeld in kader 4.2. Als het gedrag niet goed is, is de eindscore 'onvoldoende'. Bij twijfelachtig of goed gedrag wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3 Fictieve golfhoogte (eenvoudige toetsing)

Voor belasting door overslag bestaat een eenvoudige toetsregel die leidt tot een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'. In de toetsregel wordt het gewicht per oppervlakte-eenheid van de toplaagelementen vergeleken met de zogenaamde fictieve golfhoogte: het verschil tussen het golfoploopniveau (Toetspeil + $z_{2\%}$) en de kruinhoogte. Er zijn verschillende toetsregels voor twee soorten steenzettingen: voor gunstige steenzettingen is een lichtere toplaag nodig voor een score 'goed'.

Gunstige steenzettingen zijn goed geklemde zuilen of ingewassen en/of dichtgeslibde natuursteen, waarbij de kruinrand is afgerond of ingegoten met gietasfalt. De regels zijn als volgt:

- 'goed' : $\Delta D \geq {}^1/_6 \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$
- 'twijfelachtig' : ${}^1/_6 \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr}) > \Delta D \geq {}^1/_{12} \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$
- 'onvoldoende' : $\Delta D < {}^1/_{12} \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$

Voor overige steenzettingen zijn de regels als volgt:
- 'goed' : $\Delta D \geq {}^1/_4 \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$
- 'twijfelachtig' : ${}^1/_4 \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr}) > \Delta D \geq {}^1/_{12} \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$
- 'onvoldoende' : $\Delta D < {}^1/_{12} \bullet (\text{Toetspeil} + z_{2\%} - h_{kr})$

Hierin is:
$z_{2\%}$: golfoploophoogte, *zie bijlage A.1.12* [m]
h_{kr} : te toetsen kruinhoogte (actuele hoogte minus zetting en klink tot aan de peildatum) [m + NAP]

Stap 4 Geavanceerde toetsing

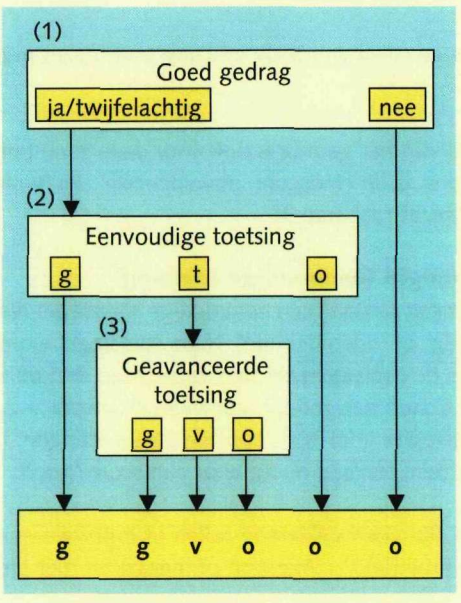
Bij een score 'twijfelachtig' in stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor de toetsing op overslag, *zie Achtergronden 3.6.2.*

4.3 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER LANGSSTROMING ZTS

Toetsing op toplaaginstabiliteit onder langsstroming is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil. De toetsregels gelden ook voor steenzettingen op bermen en bovenbelopen in deze zone.

De toetsing in het kort

De eerste stap is ook hier het gedrag. Vervolgens wordt een eenvoudige rekenregel toegepast, en daaruit volgt een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'; in geval van een tussenscore 'twijfelachtig' kan een eindscore worden bepaald met geavanceerde toetsing (stap 3). Dit is weergegeven in figuur 4.16. Overigens is deze toetsing in de praktijk bijna nooit maatgevend boven de toetsing op golfbelasting.



Figuur 4.16 Beoordelingsschema toplaaginstabiliteit onder langsstroming

Stap 1 Gedrag

Het gedrag van de steenzetting kan aanleiding zijn om een score 'onvoldoende' te geven voor toplaaginstabiliteit; de regels zijn bij dit spoor overigens exact hetzelfde als voor het spoor toplaaginstabiliteit onder golfaanval, zie kader 4.2.

Stap 2 Eenvoudige toetsing

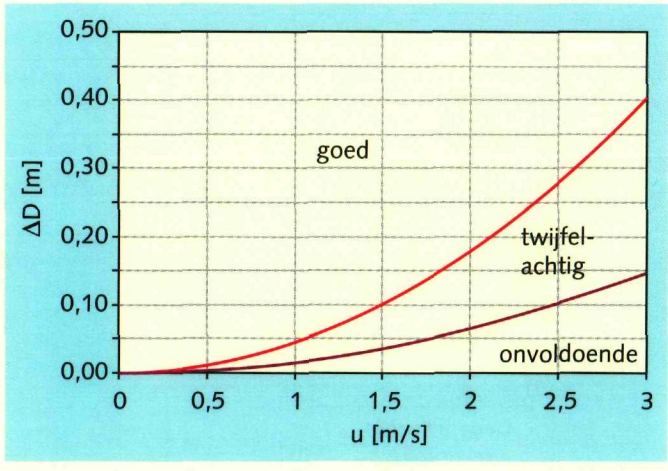
Voor belasting op langsstroming bestaat een eenvoudige toetsregel die leidt tot een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende':

– de score is 'goed' als $\Delta D > 0{,}44 \frac{u^2}{g}$

– de score is 'twijfelachtig' als $0{,}16 \frac{u^2}{g} \leq \Delta D \leq 0{,}44 \frac{u^2}{g}$

– de score is 'onvoldoende' als $\Delta D < 0{,}16 \frac{u^2}{g}$

Deze regels zijn weergegeven in figuur 4.17.



Figuur 4.17
Eenvoudige toetsing op langsstroming

Stap 3 Geavanceerde toetsing

Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor de toetsing op langsstroming, zie Achtergronden 3.7 voor aandachtspunten.

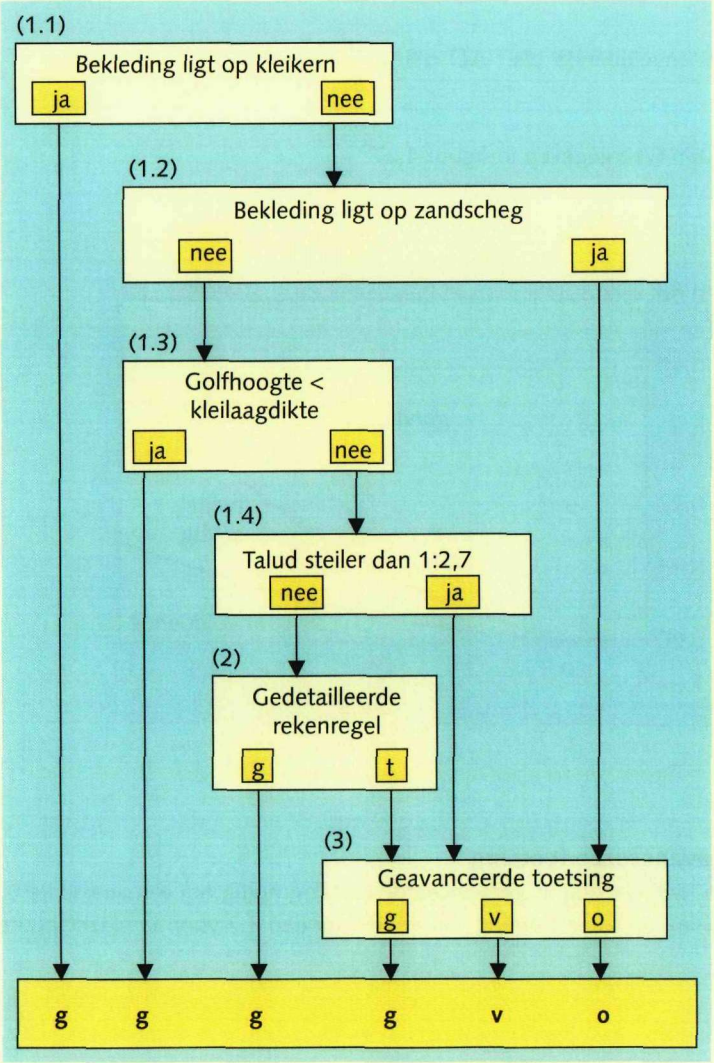
4.4 AFSCHUIVING ZAF

Toetsing op afschuiving is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil. De hier beschreven toetsmethode gaat uit van de veronderstelling dat de teenconstructie (bij steenzettingen) of verankering (bij blokkenmatten) dusdanig is dat de bovenlaag en/of filterlaag en/of kleilaag niet af kunnen schuiven. De toetsing daarop vindt plaats in het aparte spoor Bezwijken van teen, overgangs- of aansluitingsconstructie, zie 6.2.

De regels voor afschuiving in Steentoets 3.32 komen deels wel en deels niet overeen met de nieuwe regels; aanbevolen wordt om Steentoets 3.32 niet te gebruiken voor de toetsing op afschuiving.

De toetsing in het kort

Stap 1 bevat enkele voorwaarden die direct kunnen leiden tot een score 'goed'. Zij kunnen er ook voor zorgen dat de gedetailleerde methode van stap 2 niet kan worden toegepast zodat direct geavanceerde toetsing nodig is. Als uit stap 2 een tussenscore 'twijfelachtig' volgt, is ook de geavanceerde toetsing van stap 3 nodig, zie figuur 4.18.

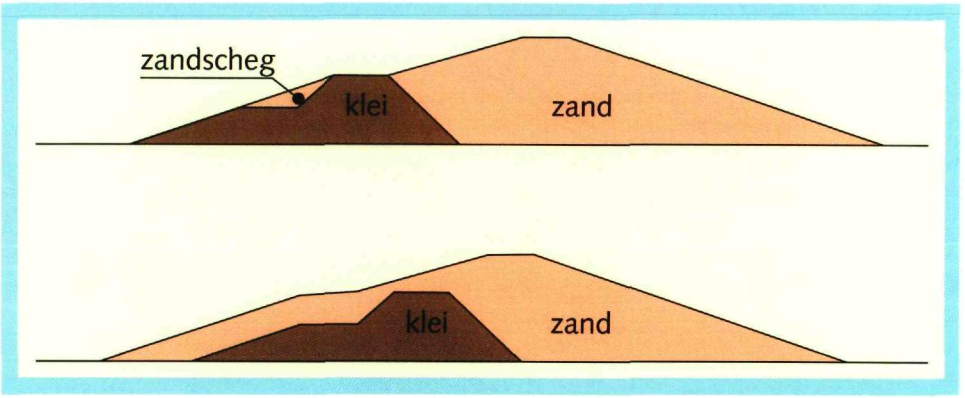


Figuur 4.18 Beoordelingsschema afschuiving

Stap 1 Eenvoudige toetsing

stap 1.1 bekleding ligt op kleikern
De eindscore op afschuiving is 'goed' als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) direct op de kleikern van de dijk ligt, zonder zandlaag tussen kleikern en bekleding. Bij een andere dijkopbouw wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

stap 1.2 bekleding ligt op zandscheg
De gedetailleerde methode mag niet worden toegepast als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) op een profiel ligt met een zandscheg. Een zandscheg is een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en een oude kleikern, zie figuur 4.19. Een zandscheg vormt een risico voor afschuiving als er wel water in kan komen (bij hoogwater of door regen), maar het er niet uit kan wegstromen. De gedetailleerde methode is in zo'n geval niet toepasbaar omdat in de zandscheg een zeer hoge freatische lijn kan ontstaan, met daardoor een reëel gevaar voor afschuiving. Als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) direct op een zandkern ligt, of op een kleilaag op de zandkern, is gedetailleerde toetsing wel mogelijk. Als het profiel geen zandscheg bevat, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.3. Bij een dijkopbouw met zandscheg is geavanceerde toetsing nodig (stap 3).



Figuur 4.19
Aangevulde kleidijk

stap 1.3 golfhoogte kleiner dan kleilaagdikte
Bij veel steenzettingen in Nederland ligt de bekleding (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) op een kleilaag op de zandkern. Voor dat soort profielen kan direct een score 'goed' worden gegeven als de significante golfhoogte H_s kleiner is dan de kleilaagdikte. Benadrukt wordt dat de andere bekledingslagen in deze deelstap niet mogen worden meegerekend. De toepasbaarheid van de regel is onafhankelijk van de taludhelling. Deze regel geldt voor steenzettingen en ook voor grasbekledingen.

Als de kleilaagdikte kleiner is dan de golfhoogte H_s, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4.

stap 1.4 talud steiler dan 1:2,7
Als de helling flauwer is dan 1:2,7 wordt de toetsing voortgezet met stap 2. Bij een steilere helling is de gedetailleerde methode van stap 2 niet toepasbaar en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 2 Toetsing met rekenregel (gedetailleerde toetsing)

De score is 'goed' als aan de volgende eis wordt voldaan:

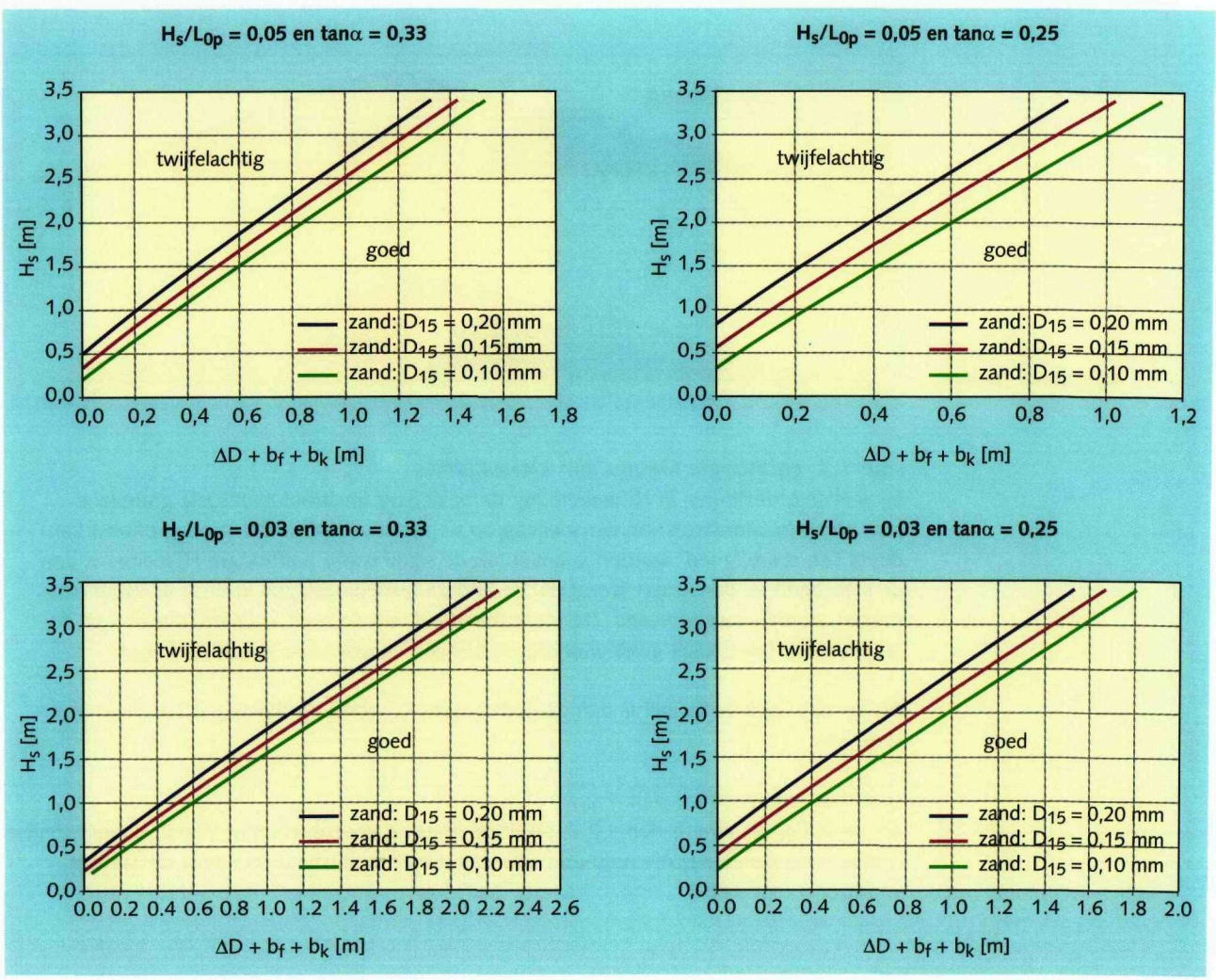
$$\Delta D + b_f + b_k > min\left\{0{,}16 H_s^{0,2} T_p^{1,6} (\tan\alpha)^{0,8}; 1{,}5 H_s\right\} - 1334 \cdot (1 - 1{,}19 \cdot \tan\alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid van de toplaag	[-]
D	=	dikte van de toplaag	[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 4.20 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 golflengte L_{0p}), taludhelling α en korrelgrootte van het zand D_{15}.

Figuur 4.20
Rekenregel gedetailleerde toetsing op afschuiving



De formule kan worden gebruikt bij tussenliggende waarden en bij waarden buiten de grafieken (behalve bij taludhellingen steiler dan 1:2,7, zie stap 1.4.) Als niet aan de eis wordt voldaan is de tussenscore 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 3.

Stap 3 Geavanceerde toetsing

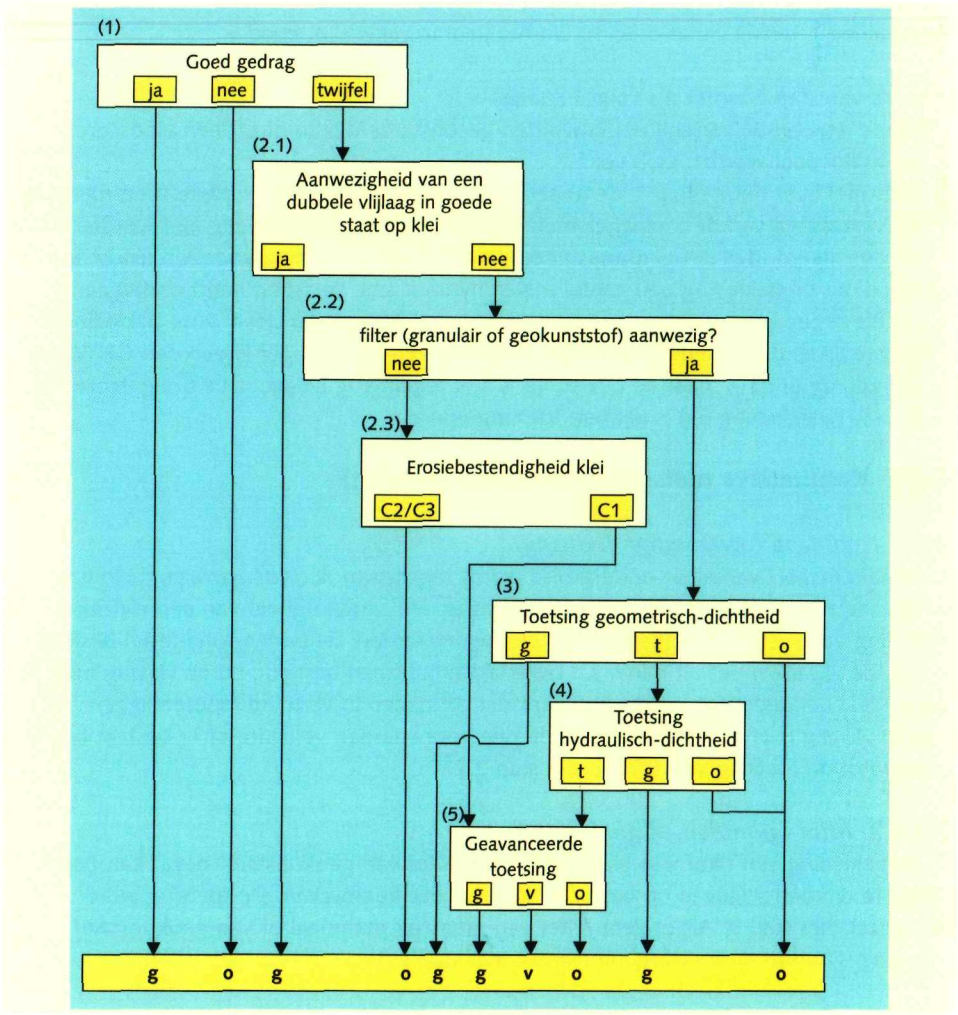
Als uit gedetailleerde toetsing geen eindscore volgt, kan de bekleding geavanceerd worden getoetst op afschuiving. Deze geavanceerde toetsing kan worden uitgevoerd met grondmechanische eindige-elementenprogramma's zoals Plaxis, zie Achtergronden 4.4 voor richtlijnen.

4.5 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND ZMO

Toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil.

De toetsing in het kort

Stap 1 van deze toetsing betreft het gedrag. In stap 2 kan een eindscore worden gehaald op basis van kwalitatieve kenmerken van de bekleding. Als dat niet het geval is, wordt getoetst op geometrisch-dichtheid (stap 3) en als daaruit geen eindscore volgt, wordt



Figuur 4.21 Beoordelingsschema materiaaltransport vanuit de ondergrond

getoetst op hydraulisch-dichtheid (stap 4). Als uit stap 1-3 geen eindscore volgt en er wordt niet voldaan aan de toepassingsgrenzen van stap 4, is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bepalen (stap 5), zie figuur 4.21.

In Steentoets 3.32 is alleen stap 3 verwerkt, maar de regels zijn in detail verschillend.

Stap 1 Gedrag

Materiaaltransport vanuit de ondergrond (en overigens ook vanuit de granulaire laag, zie 4.6) wordt zichtbaar door holtes onder de toplaag of door verzakking van de toplaagelementen. Als holtes onder de toplaag worden geconstateerd, kan direct worden gesteld dat het gedrag niet goed is. Ten aanzien van verzakking van toplaagelementen is het zinvol om te kijken naar individuele elementen en naar grotere oppervlakten. Als een individueel element meer dan ongeveer 5 cm is verzakt ten opzichte van naastgelegen elementen, kan een tussenscore 'twijfelachtig' worden gegeven. Als de individuele zakking meer dan orde 10 cm bedraagt, is het gedrag zeker niet goed. Overigens is het mogelijk dat materiaaltransport niet de oorzaak is van deze zakking; in het kader van de maatregelen die de beheerder gaat nemen moet uiteraard eerst worden nagegaan wat de oorzaak is.

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

De score van stap 1 wordt als volgt bepaald:
- Als de genoemde verschijnselen worden geconstateerd, kan direct een eindscore 'onvoldoende' worden gegeven.
- Bij twijfel over het gedrag is de tussenscore 'twijfelachtig' en is verdere toetsing nodig.
- Als verzakking van de toplaagelementen of holtes onder de toplaag niet worden geconstateerd (dus het gedrag is goed), is dit alleen aanleiding voor een eindscore 'goed' als de bekleding een aantal malen hydraulische belasting heeft ondergaan. Dit moet per geval bekeken worden, maar het geldt in ieder geval voor bekledingen op zeedijken die al minimaal vijf jaar aanwezig zijn en die lager liggen dan GHW. Als het gedrag goed is maar de bekleding is niet regelmatig belast, is de tussenscore van stap 1 'twijfelachtig' en is verdere toetsing nodig.

Stap 2 Kwalitatieve toetsing (eenvoudige toetsing)

stap 2.1 vlijlaag (eenvoudige toetsing)

Materiaaltransport vanuit de ondergrond wordt tegengaan door de aanwezigheid van een vlijlaag tussen ondergrond en granulaire laag. De aanwezigheid van een vlijlaag is aanleiding voor een score 'goed' onder drie voorwaarden: de ondergrond moet bestaan uit klei, de vlijlaag moet uit minimaal twee lagen baksteen bestaan, en de vlijlaag moet in goede staat verkeren. Dit laatste betekent dat de stenen in verband moeten liggen. Als er geen vlijlaag is of er wordt niet aan de drie voorwaarden voldaan, of er bestaat twijfel over, wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2.

stap 2.2 filter (granulair of geokunststof)

Als de bekleding een filter van granulair materiaal of van geokunststof bevat kan geen eindscore worden gegeven op basis van kwalitatieve kenmerken. De toetsing wordt voortgezet met stap 3. Als er geen filter van granulair materiaal of van geokunststof aanwezig is, wordt de toetsing voortgezet met stap 2.3.

stap 2.3 erosiebestendigheid van de klei (eenvoudige toetsing)
Voor steenzettingen waarvan de toplaag direct op klei staat, dus zonder filterconstructie van geokunststof, granulair materiaal of een vlijlaag, kan direct een eindscore 'onvoldoende' worden gegeven als de klei 'matig erosiebestendig' (c2) of 'weinig erosiebestendig' (c3) is (zie bijlage A.7.3 voor de bepaling van de erosiebestendigheid). Als de klei 'goed erosiebestendig' (c1) is, is geavanceerde toetsing nodig; stap 3 en stap 4 bevatten geen rekenregels voor bekledingen zonder filter. Ook in dit geval is overigens wel een waarschuwing op zijn plaats. De ervaring heeft geleerd dat bij steenzettingen waarvan de toplaag direct op klei staat, in de loop van de tijd bijna altijd uitspoeling van kleideeltjes plaatsvindt. In aanvulling op stap 1 is het voor dit bekledingstype altijd nodig op de dijk te verifiëren of onder de toplaagelementen geen geulen en holtes aanwezig zijn.

Stap 3 Geometrisch-dichtheid (eenvoudige toetsing)

Bij een geometrisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor: de afmetingen van het materiaal van de onderliggende laag zijn groter dan de openingen van de bovenliggende laag. Bij granulair materiaal wordt de korrelgrootte gebruikt als maat voor de openingsgrootte. De toetsregels bestaan daarom uit grenswaarden voor de verhouding tussen de korrelgrootte van bovenliggende laag en onderliggende laag. Bij een score 'twijfelachtig' is toetsing op hydraulisch-dichtheid mogelijk (zie stap 4), behalve als het filter alleen uit een geokunststof bestaat; voor die constructies leidt toetsing op geometrisch-dichtheid altijd tot een score 'goed' of 'onvoldoende', zie verder kader 4.8.

Kader 4.8 deel 1

TOETSING OP GEOMETRISCH DICHTHEID (EENVOUDIGE TOETSING)

Toetsing van geometrisch-dichtheid voor materiaaltransport vanuit de ondergrond hangt af van de laagopbouw tussen de toplaag en de ondergrond. De toetsregels worden apart besproken voor drie situaties:
- toplaag op granulaire laag op ondergrond;
- toplaag op geokunststof op ondergrond;
- toplaag op granulaire laag op geokunststof op ondergrond.

Toplaag op granulaire laag op ondergrond

Er worden twee typen onderscheiden:
1 granulaire laag van breed gegradeerd materiaal op zand of klei;
2 granulaire laag van smal gegradeerd materiaal op zand of klei.
De regels worden per type gegeven.

type 1 granulaire laag van breed gegradeerd materiaal op zand of klei
Een granulair materiaal is breed gegradeerd als geldt $D_{f85} > 10 \bullet D_{f15}$. Dit is bijvoorbeeld het geval voor ongesorteerde mijnsteen, silex of betonpuin. Het toetsresultaat wordt bepaald door de verhouding tussen de fijne fractie van het filtermateriaal (D_{f15}) en de gemiddelde korrelgrootte van de ondergrond (D_{50}). De toetsregels zijn weergegeven in de linkerhelft van figuur 4.22.

type 2 granulaire laag van smal gegradeerd materiaal op zand of klei
Bij smal gegradeerd materiaal geldt $D_{f85} \leq 10 \bullet D_{f15}$. Voorbeelden zijn steenslag of gebroken grind. Het toetsresultaat wordt bepaald door de verhouding tussen de fijne fractie van het filtermateriaal (D_{f15}) en de gemiddelde korrelgrootte van de ondergrond (D_{50}). De toetsregels zijn weergegeven in de rechterhelft van figuur 4.22.

Strikt genomen zijn de regels in figuur 4.22 iets soepeler dan de eisen voor geometrisch-dichtheid, met name rechts van de knik in de lijnen tussen 'goed' en 'twijfelachtig'.

Toplaag op geokunststof op ondergrond

Voor dit type bestaat geen gedetailleerde of geavanceerde toetsmethode, zodat uit de toetsing op geometrisch-dichtheid altijd een score 'goed' of 'onvoldoende' moet volgen.
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 regels zijn als volgt: de score is 'goed' als wordt voldaan aan elk van de drie volgende voorwaarden:
- $O_{90} < 10 \bullet D_{b50}$;
- $O_{90} < D_{b90}$;
- $O_{90} < 0{,}1$ mm.

Als de karakteristieke openingsgrootte O_{90} groter is dan één van de drie gegeven grenzen, is de score 'onvoldoende'.

type 2 geokunststof op zand
De regels zijn als volgt:
- de score is 'goed' als O_{90} kleiner is dan D_{b50};
- de score is 'onvoldoende' als O_{90} groter is dan D_{b50}.

Toplaag op granulaire laag op geokunststof op ondergrond

Er worden twee typen onderscheiden:
1 granulaire laag op geokunststof op klei;
2 granulaire laag op geokunststof op zand.
De regels worden per type gegeven.

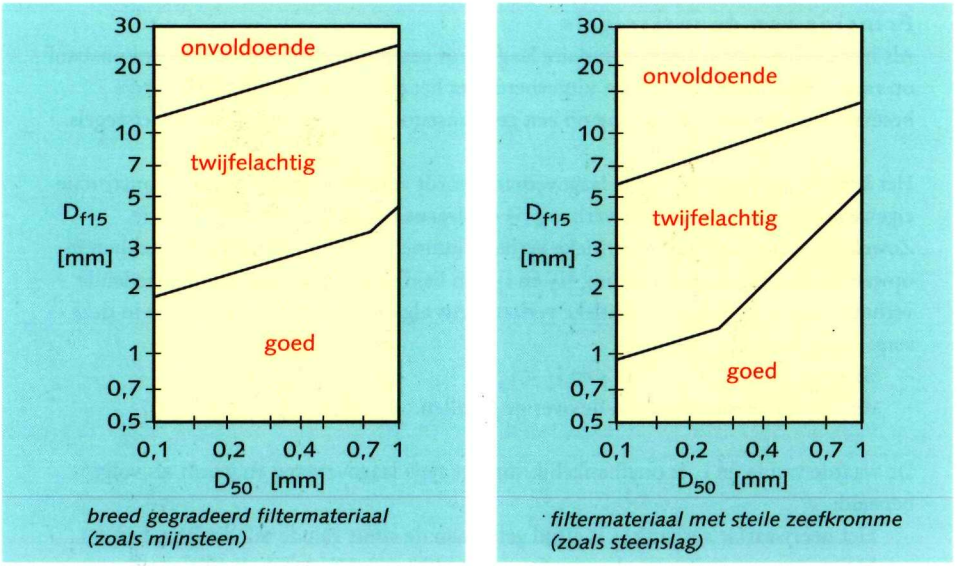
type 1 granulaire laag op geokunststof op klei
De regels zijn als volgt: de score is 'goed' als wordt voldaan aan elk van de drie volgende voorwaarden:
- $O_{90} < 10 \bullet D_{b50}$;
- $O_{90} < D_{b90}$;
- $O_{90} < 0{,}1$ mm.

Als de karakteristieke openingsgrootte O_{90} groter is dan één van de drie gegeven grenzen, is de score 'twijfelachtig'. In dat geval moet worden getoetst op hydraulisch-dichtheid van de overgang, zie stap 4.

type 2 granulaire laag op geokunststof op zand
De regels zijn als volgt:
- de score is 'goed' als O_{90} kleiner is dan D_{b90};
- de score is 'onvoldoende' als O_{90} groter is dan $2{,}5 \bullet D_{b90}$.

In alle overige gevallen is de tussenscore 'twijfelachtig' en moet worden getoetst op hydraulisch-dichtheid van de overgang, zie stap 4.

Kader 4.8
Vervolg eenvoudige toetsing hydraulisch dichtheid



Figuur 4.22
Eenvoudige toetsing granulair filter op zand of klei

Stap 4 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

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 toetsregels in deze stap bestaan daarom uit een vergelijking tussen het optredende en het kritieke verhang langs het grensvlak.

De methode staat in kader 4.9. Ten eerste wordt gecontroleerd of aan de toepassingsvoorwaarden wordt voldaan. Als dat niet het geval is, wordt de toetsing voortgezet met stap 5; als wel aan de voorwaarden wordt voldaan volgt uit de rekenregels een score 'goed' of 'onvoldoende'.

Kader 4.9
deel 1

TOETSING HYDRAULISCH-DICHTHEID (GEDETAILLEERDE TOETSING)

Toetsing van hydraulisch-dichtheid voor materiaaltransport vanuit de ondergrond is alleen mogelijk als tussen toplaag en ondergrond een granulaire laag aanwezig is, eventueel op een geokunststof. Een constructie zonder granulaire laag die volgens stap 3 geometrisch open is, krijgt dus een score 'onvoldoende', zie kader 4.8. Eerst worden de toepassingsgrenzen van de rekenregels besproken. Vervolgens wordt het algemene principe van de toetsregels besproken, tenslotte worden de specifieke rekenregels voor de situatie zonder geokunststof en met geokunststof apart besproken.

Toepassingsvoorwaarden

Voor toepassing van de rekenregels voor hydraulisch-dichtheid gelden de volgende voorwaarden:

- direct onder de toplaag moet een granulaire laag aanwezig zijn, al dan niet in combinatie met een geokunststof;
- deze granulaire laag moet óf dikker zijn dan de helft van de toplaagdikte, óf dikker dan 15 cm.

Als hieraan niet wordt voldaan is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 5.

Principe van de toetsregels

Als het filter bestaat uit een granulaire laag of uit een granulaire laag op een geokunststof op zand kan de toetsing worden uitgevoerd met het programma ANAMOS. Filters bestaande uit een granulaire laag op een geokunststof op klei hebben aparte toetsregels.

Het *kritieke* verhang (i_{cr}) bij de laagovergang wordt volledig bepaald door de constructie-eigenschappen, het *optredende* verhang (i) en 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 toetsregel geldt dus in deze stap:

- de score is 'goed' als $i_{\uparrow} < i_{cr\uparrow}$ en $i_{\downarrow} < i_{cr\downarrow}$;
- de score is 'onvoldoende' in de overige gevallen.

De waarde van $i_{\uparrow}$ en $i_{\downarrow}$ is onafhankelijk van het type laagovergang en wordt als volgt bepaald:

- Het neerwaartse verhang $i_{\downarrow}$ is altijd gelijk aan de sinus van de taludhelling (sin α).
- 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, zie Achtergronden 5.1 voor onderbouwing en achterliggende rekenformules.

De rekenregels voor de waarde van i_{cr} hangen wél af van het type laagovergang en worden per type besproken.

Granulaire laag

Voor dit type filter kan de toetsing worden uitgevoerd met ANAMOS: de rekenregels voor zowel het optredende als het kritieke verhang zijn daarin verwerkt. Het resultaat van deze toetsing staat in de ANAMOS-uitvoer onder:
STABILITEIT GRENSVLAK BASIS-FILTER.

De regels zijn onafhankelijk van de samenstelling van de ondergrond. Het optredende verhang moet kleiner zijn dan het kritieke verhang i_{cr}. Voor dit type laagovergang hangt het kritieke verhang i_{cr} 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_{b50}). 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, zie Achtergronden 5.1 voor onderbouwing en achterliggende rekenformules.

Granulaire laag op een geokunststof

Er worden twee typen onderscheiden:

1 Granulaire laag op geokunststof op klei;
2 Granulaire laag op geokunststof op zand.

De regels worden per type gegeven.

Kader 4.9
Vervolg gedetailleerde toetsing hydraulisch dichtheid

type 1 Granulaire laag op geokunststof op klei
De rekenregels voor het kritieke verhang bij dit type zijn niet verwerkt in ANAMOS. Voor toetsing van dit type kan het optredende verhang het beste worden bepaald met ANAMOS, waarna dat kan worden vergeleken met de waarde van het kritieke verhang volgens de hierna volgende regels.

De rekenregels voor dit type zijn alleen toepasbaar als O_{90} kleiner of gelijk is aan 200 µm, en $D_{f15} < 250$ mm. Bij een grotere waarde voor O_{90} is de score 'onvoldoende' (tenzij wordt voldaan aan de regels voor geometrisch-dichtheid, uiteraard).

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/slechte klei. De definitie van goede klei is in dit verband dat het lutumgehalte groter is dan 35%.

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

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

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

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

type 2 granulaire laag op geokunststof op zand
Voor dit type filter kan de toetsing worden uitgevoerd met ANAMOS: de rekenregels voor zowel het optredende als het kritieke verhang zijn daarin verwerkt. Het resultaat van deze toetsing staat in de ANAMOS-uitvoer onder:
STABILITEIT GRENSVLAK BASISFILTER.

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_{b90}). 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), zie Achtergronden 5.1 voor onderbouwing en achterliggende rekenformules.

Kader 4.9 Vervolg gedetailleerde toetsing hydraulisch dichtheid

Stap 5 Geavanceerde toetsing

Geavanceerde toetsing kan worden bereikt vanuit stap 2.3 en vanuit stap 4, zie Achtergronden 5.1 voor aandachtspunten.

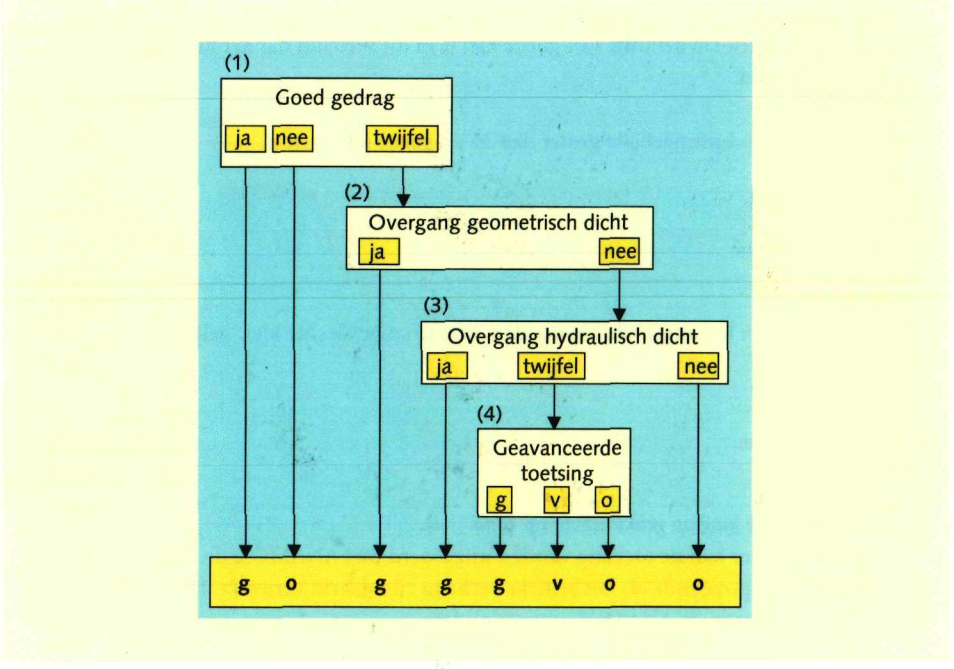
4.6 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE GRANULAIRE LAAG ZMG

Toetsing op materiaaltransport vanuit de granulaire laag is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil.

De toetsing in het kort

De eerste stap betreft het gedrag (stap 1). Als daaruit geen eindscore volgt, wordt getoetst op geometrisch-dichtheid (stap 2) en als de overgang niet geometrisch dicht is wordt getoetst op hydraulisch-dichtheid (stap 3). Als hieruit geen eindscore volgt, is geavanceerde toetsing nodig (stap 4). Het beoordelingsschema staat in figuur 4.23.

De toetsing op dit spoor is niet verwerkt in Steentoets 3.32.



Figuur 4.23 Beoordelingsschema materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Stap 1 Gedrag

Materiaaltransport vanuit de granulaire laag wordt zichtbaar door holtes onder de toplaag of door verzakking van de toplaagelementen. Voor de regels, zie stap 1 van materiaaltransport vanuit de ondergrond (4.5).

Stap 2 Geometrisch-dichtheid (eenvoudige toetsing)

Bij een geometrisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor omdat de afmetingen van het materiaal van de granulaire laag groter zijn dan de toplaagopeningen.

Hiervoor bestaat een eenvoudige toetsingsregel, die leidt tot een eindscore 'goed' of een tussenscore 'twijfelachtig':

- de score is 'goed' als $D_{50} \geq$ spleetbreedte of gatdiameter
- de score is 'twijfelachtig' als $D_{50} <$ spleetbreedte of gatdiameter

Bij een score 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

Bij een hydraulisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor, doordat het verhang langs het grensvlak te klein is om transport vanuit de granulaire laag door de toplaag mogelijk te maken.

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 worden de volgende toetsregels gehanteerd:

- de score is 'goed' voor $Y < 0{,}5 \cdot D$;
- de score is 'onvoldoende' voor $Y > 1{,}5 \cdot D$;
- de score is 'twijfelachtig' voor tussenliggende waarden; in dat geval is geavanceerde toetsing nodig, zie stap 4.

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

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

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

Hierin is:

G	=	gatdiameter	[m]
D	=	toplaagdikte	[m]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
D_{50}	=	korreldiameter van het granulaire materiaal	[m]
Ω	=	open-ruimtegehalte van de toplaag (bij een open-ruimtepercentage van 10%, een waarde van 0,10 invullen)	[-]

Stap 4 Geavanceerde toetsing

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor dit spoor, zie Achtergronden 5.2.

4.7 EROSIE VAN DE ONDERLAGEN ZEO ('RESTSTERKTE')

Toetsing op erosie van de onderlagen is alleen zinvol voor bekledingen die een score 'onvoldoende' hebben (of eventueel 'geen oordeel' doordat het toetsschema niet kan worden doorlopen) voor toplaaginstabiliteit onder langsstroming of golfaanval of materiaaltransport vanuit de ondergrond of vanuit de granulaire laag, zie figuur 4.1. De mate waarin reststerkte in rekening kan worden gebracht is afhankelijk van de sporen waarop de toplaag 'onvoldoende' scoort; dit wordt verderop in deze paragraaf behandeld.

Afhankelijk van de plaats van de bekleding worden de onderlagen belast door langsstroming, golfklappen of golfoploop. Toetsing van onderlagen die worden belast door langsstroming of door golfoploop komt in de praktijk zelden voor. Voor deze situatie bestaan geen eenvoudige of gedetailleerde toetsregels, zodat geavanceerde toetsing nodig is, zie Achtergronden 6.4. De toetsregels in deze paragraaf zijn bedoeld voor steenzettingen in zone A: op het buitentalud onder Toetspeil en voor onderlagen van granulair materiaal en klei, eventueel met een geokunststof. Voor onderlagen van

zandasfalt wordt verwezen naar de toetsregels voor asfaltbekledingen in het VTV. Toetsing op erosie van de onderlagen is soms van belang, omdat een score 'voldoende' kan worden gegeven als de weerstand tegen erosie van de toplaag, de granulaire laag en de kleilaag samen groter zijn dan de maatgevende belastingduur. Om deze vergelijking te kunnen maken zijn rekenregels ontwikkeld waarmee de weerstand tegen erosie wordt uitgedrukt in een tijdsduur. Deze tijdsduur wordt reststerkte genoemd. In formulevorm:

$$t_{rg} + t_{rk} > t_{sm}$$

Voor de wijze van bepaling van de maatgevende belastingduur, zie bijlage A.1.8.

waarin:

t_{rg}	=	reststerkte van de toplaag + de granulaire laag	[uur]
t_{rk}	=	reststerkte van de kleilaag	[uur]
t_{sm}	=	*maatgevende belastingduur*	[uur]

Zowel de reststerkte als de maatgevende belastingduur zijn afhankelijk van het niveau waarop wordt getoetst. Voor het toekennen van een eindscore 'voldoende' volstaat het niet altijd als alleen het bekledingsvlak met een toplaagscore 'onvoldoende' genoeg reststerkte heeft: het is mogelijk dat de schade aan de toplaag zich naar boven en naar beneden uitbreidt, zelfs als de toplaag daar 'goed' is. Bij de toetsing moet altijd worden nagegaan of de schade zich kan uitbreiden; in dat geval moeten ook de aansluitende bekledingsvlakken genoeg reststerkte hebben, zelfs als de toplaag ter plaatse 'goed' is.

De toetsing in het kort

In stap 1 wordt nagegaan of de reststerkte van de toplaag + de granulaire laag groter is dan de belastingduur. Als dat het geval is kan direct een score 'voldoende' worden gegeven, als dat niet het geval is dan kan worden nagegaan of de kleilaag het benodigde verschil kan overbruggen (stap 2.1-2.3). Deze volgorde (eerst toplaag + granulaire laag, dan kleilaag) is in het schema opgenomen omdat de reststerkte van de toplaag + de granulaire laag in de praktijk meestal veel makkelijker kan worden bepaald dan die van de kleilaag, vooral omdat gegevensverzameling van de kleilaag veel moeilijker is. In principe kan dus ook stap 2 als eerste worden uitgevoerd (maar dan moet natuurlijk anders worden omgegaan met stap 2.1 en 2.2). De rekenregels van stap 1 en 2 zijn conservatief; als daaruit geen score 'voldoende' volgt, kan geavanceerde toetsing worden toegepast (stap 3). *Hierbij wordt zowel naar de granulaire laag als naar de kleilaag gekeken.* Het beoordelingsschema staat in figuur 4.24.

In Steentoets 3.32 kan de belastingduur worden ingevuld en worden de reststerktes van de toplaag + granulaire laag en van de kleilaag berekend. De rekenregels voor de reststerkte van de toplaag + granulaire laag wijken in detail af van de hier gepresenteerde regels.

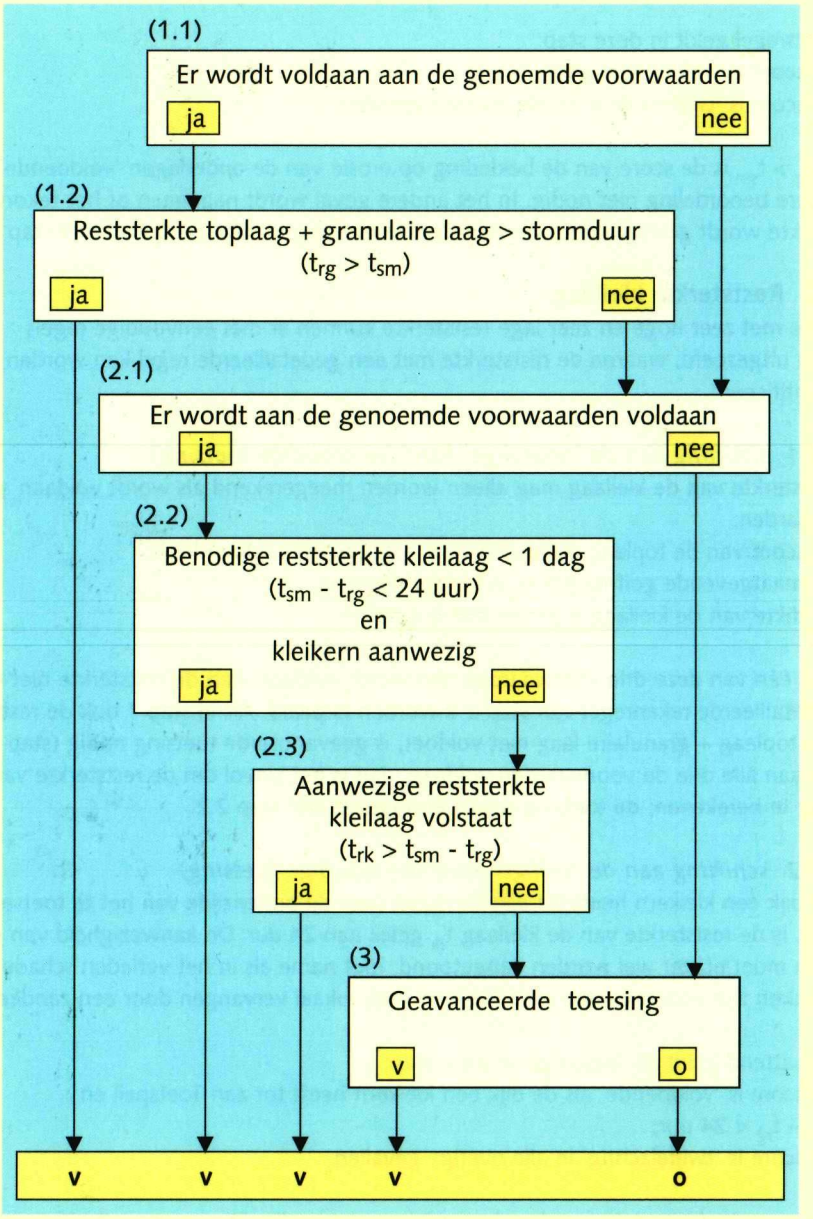
Stap 1 Reststerkte toplaag en granulaire laag

In stap 1.1 wordt met eenvoudige voorwaarden bekeken of de reststerkte van deze lagen mag worden meegerekend. Stap 1.2 betreft de berekening.

stap 1.1 voorwaarden (eenvoudige toetsing)

De reststerkte van de toplaag en de granulaire laag mag alleen worden meegerekend als wordt voldaan aan vier voorwaarden:

- de score van de toplaag op afschuiving, materiaaltransport vanuit de ondergrond en materiaaltransport vanuit de granulaire laag is 'goed' of 'voldoende', én
- er is geen sprake van een groot aantal losse toplaagelementen per m^2 bekleding, én
- de golfhoogte is niet te groot: $H_s/\Delta D \leq 10 \bullet \xi_{0p}^{-0,67}$, én
- er ligt een geokunststof onder de granulaire laag, óf de laagdikte b is niet te klein:
  - bij loodrechte golfinval, invalshoek β kleiner dan 20°: $b \geq 0,1+0,023(H_s L_{0p})^{0,5}$
  - bij scheve golfinval, invalshoek β groter dan 20°: $b \geq 0,1+0,038(H_s L_{0p})^{0,5}$



Figuur 4.24
Beoordelingsschema erosie van de onderlagen

Als aan één van deze vier voorwaarden niet wordt voldaan, is de reststerkte van de toplaag + de granulaire laag verwaarloosbaar: $t_{rg} = 0$. De toetsing wordt in dat geval voortgezet met stap 2.1. Als aan alle vier de voorwaarden wordt voldaan, is het zinvol om de reststerkte te berekenen in stap 1.2.

stap 1.2 berekening reststerkte toplaag en granulaire laag (eenvoudige toetsing)
Als wél wordt voldaan aan de voorwaarden in stap 1.1, wordt de reststerkte van de granulaire laag t_{rg} in de toetsmethode volledig bepaald door de golfparameters bij maatgevende omstandigheden:

$t_{rg} = (163.000 \cdot T_p \cdot \exp[-0{,}74\sqrt{(H_s L_{0p})}]) / 3600$ (t_{rg} is in uren en T_p in seconden)

Als toetsregel geldt in deze stap:
- de score is 'voldoende' als $t_{rg} > t_{sm}$;
- de score is 'twijfelachtig' in alle overige gevallen.

Voor $t_{rg} > t_{sm}$ is de score van de bekleding op erosie van de onderlagen 'voldoende' en is verdere beoordeling niet nodig. In het andere geval wordt nagegaan of het tekort aan reststerkte wordt geleverd door de kleilaag. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.1.

Stap 2 Reststerkte kleilaag

Situaties met zeer hoge en zeer lage reststerkte kunnen er met eenvoudige regels worden uitgezeefd, waarna de reststerkte met een gedetailleerde regel kan worden gekwantificeerd.

stap 2.1 schifting aan de 'onveilige' kant (eenvoudige toetsing)

De reststerkte van de kleilaag mag alleen worden meegerekend als wordt voldaan aan drie voorwaarden:
1 de score van de toplaag op afschuiving is 'goed' of 'voldoende';
2 de maatgevende golfhoogte H_s is kleiner dan 2 m;
3 de dikte van de kleilaag is groter dan 0,4 m.

Als aan één van deze drie voorwaarden niet wordt voldaan, kan de reststerkte niet met de gedetailleerde rekenregel van stap 2.3 worden bepaald. Als in stap 1 ook de reststerkte van de toplaag + granulaire laag niet voldoet, is geavanceerde toetsing nodig (stap 3). Wordt aan alle drie de voorwaarden voldaan, dan is het zinvol om de reststerkte van de kleilaag te berekenen; de toetsing wordt voortgezet met stap 2.2.

stap 2.2 schifting aan de 'veilige' kant (eenvoudige toetsing)

Als de dijk een kleikern heeft tot aan Toetspeil (aan de buitenzijde van het te toetsen profiel), is de reststerkte van de kleilaag t_{rk} gelijk aan 24 uur. De aanwezigheid van een kleikern moet echter wel worden aangetoond: met name als in het verleden schade of doorbraken zijn voorgekomen is de kleikern vaak lokaal vervangen door een zandkern.

Samenvattend geldt als toetsregel in deze stap:
- de score is 'voldoende' als de dijk een kleikern heeft tot aan Toetspeil en $t_{sm} - t_{rg} < 24$ uur;
- de score is 'twijfelachtig' in alle overige gevallen.

Bij een score 'voldoende' is verdere beoordeling niet nodig. Bij een score 'twijfelachtig' moet met de gedetailleerde rekenregels in stap 2.3 worden nagegaan of de reststerkte van de kleilaag t_{rk} groot genoeg is om het verschil tussen t_{sm} en t_{rg} te overbruggen.

stap 2.3 berekening (gedetailleerde toetsing)

De reststerkte van de kleilaag t_{rk} hangt af van vier parameters:
- de mate van structuurvorming in de klei; een goede indicatie hiervoor is, of de klei regelmatig onder water komt. Hiervoor wordt het niveau ten opzichte van Gemiddeld Hoogwater GHW/Winterstreefpeil WP/Gemiddelde Rivierwaterstand GRW gebruikt;
- de erosiecategorie van de klei (zie bijlage A.7.3 voor de bepaling hiervan);
- de maatgevende golfhoogte H_s;
- de kleilaagdikte d_k.

In tabel 4.1 is weergegeven hoe de waarde van t_{rk} kan worden bepaald uit deze parameters. Deze tabel bestaat in feite uit vier tabellen: rood (linksboven), blauw linksonder), groen (rechtsboven) en geel (rechtsonder). Elk van deze deeltabellen toont een combinatie van ligging t.o.v. GHW/WP/GRW en erosiebestendigheid. Binnen de deeltabellen staan de combinaties van golfhoogte en kleilaagdikte. Bijvoorbeeld: bij een punt hoog op het talud (meer dan 1 m boven de gemiddelde waterstand) en een goed erosiebestendigde klei (c1), is alleen de gele deeltabel (rechtsonder) van belang. Als in dat geval de kleilaag meer dan 1,2 m dik is en de golfhoogte tussen 1,6 en 2,0 m ligt, is de reststerkte van de kleilaag 3 uur.

niveau t.o.v. GHW/WP/GRW		**beneden GHW/WP/GRW + 1 m**				**boven GHW/WP/GRW + 1 m**			
erosie-bestendigheid	H_s *[m]* / kleilaag-dikte *[m]*	0,2	0,5	1,0	>1,6 <2,0	0,2	0,5	1,0	>1,6 <2,0
weinig (c3)	<0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,7	2	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1
	1,0	3,5	3	3	2	3,5	3	3	2
	1,2	5	4,5	4,5	3	5	4,5	4,5	3
goed (c1)+ matig (c2)	<0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,7	4	3	2	1,5	3,5	2,5	1,5	1
	1,0	7,5	6	4	3	6,5	5	3	2
	1,2	11	9	6	4,5	9,5	7,5	4,5	3

Tabel 4.1
Gedetailleerde bepaling reststerkte kleilaag t_{rk}

Het is zinvol om eerst de te overbruggen belastingduur te vergelijken met de maximaal haalbare reststerkte volgens tabel 4.1: als de kleilaag een reststerkte van meer dan 11 uur moet leveren (dus $t_{sm} - t_{rg} > 11$ uur), kan zelfs zonder verdere gegevens uit tabel 4.1 worden afgeleid dat dit (binnen de gedetailleerde toetsing) niet mogelijk is. In de praktijk zijn in ieder geval de waarden van H_s en het niveau ten opzichte van GHW/WP/GRW bekend. Soms is ook de kleilaagdikte d_k bekend, maar de erosiecategorie van de klei kan alleen worden bepaald met laboratoriumonderzoek. Het bepalen van de overige parameters (de erosiecategorie en mogelijk ook de kleilaagdikte) is alleen zinvol als de maximaal haalbare waarde van t_{rk} genoeg is om de benodigde reststerkte t_{sm} te bereiken.

Samenvattend geldt als toetsregel in deze stap:
- de score is 'voldoende' als de waarde van t_{rk} volgens tabel 4.1 groter is dan $t_{sm} - t_{rg}$ (dus: $t_{rk} > t_{sm} - t_{rg}$);
- de score is 'twijfelachtig' als dit niet het geval is.

Bij een score 'voldoende' is verdere beoordeling niet nodig. De waarden van t_{rk} in tabel 4.1 zijn conservatieve inschattingen: de werkelijke waarde van t_{rk} zal in veel gevallen groter zijn. Het is daarom niet mogelijk in deze stap een score 'onvoldoende' te halen. Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig, zie stap 3.

Stap 3 Geavanceerde toetsing

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 2 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor de toetsing op erosie van de onderlagen. Hierbij wordt de reststerkte van de gehele constructie bekeken (toplaag, granulaire laag en kleilaag), zie Achtergronden 6.4.

5 Toetsing van aanverwante bekledingstypen

zie ook het uitvouwblad

In dit hoofdstuk worden de toetsregels besproken van aan steenzettingen verwante bekledingstypen: geschakelde steenzettingen (5.1), doorgroeistenen (5.2), Noorse stenen (5.3), gepenetreerde steenzettingen (5.4), breuksteenoverlaging (5.5), steenzettingen met afstandhouders (5.6) en steenzettingen met ruwheidselementen (5.7).

5.1 GESCHAKELDE STEENZETTINGEN

Bij geschakelde steenzettingen zijn de toplaagelementen onderling verbonden. Voorbeelden zijn blokkenmatten en interlockelementen. Omdat de toetsregels in detail afwijken van de regels voor standaard steenzettingen en omdat geschakelde steenzettingen (steeds) minder vaak voorkomen, worden de toetsregels apart behandeld.

Voor geschakelde steenzettingen gelden de stroomschema's in figuur 4.1 en 4.2 ook, zie blz. 70.

De toetsing van niet-geschakelde steenzettingen is behandeld in hoofdstuk 4. De beoordelingsschema's voor toplaaginstabiliteit, afschuiving, materiaaltransport en erosie van de onderlagen zijn hetzelfde voor niet-geschakelde en geschakelde steenzettingen. Maar er zijn twee verschillen. Bij stap 1 van de toetsing op materiaaltransport van interlockelementen moet speciaal gelet worden op ontgrondingen onder de toplaag, omdat deze vaak niet goed zichtbaar zijn. Het belangrijkste verschil is echter dat bij de toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval én toplaaginstabiliteit onder langsstroming rekening kan worden gehouden met 10% grotere sterkte. Voor blokkenmatten moet dan wel eerst worden nagegaan of de hoekverbindingen goed verankerd zijn. De werkwijze voor het toetsspoor toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG wordt hieronder uitgewerkt.

*>

Stap 1 Algemene stappen

stap 1.1 gedrag
De toetsing op toplaaginstabiliteit aan de hand van het gedrag wordt ook voor dit type behandeld in kader 4.2. Bij een score 'goed' of 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

stap 1.2 blokkenmatten: verankering van hoekverbindingen
Voor het functioneren van blokkenmatten is het essentieel dat de hoekelementen van de matten goed verankerd zijn. Als dit niet het geval is, moet de blokkenmat worden getoetst alsof het een bekleding van los liggende toplaagelementen is, conform hoofdstuk 4. Als de hoekelementen wel goed verankerd zijn, kan de toetsing worden voortgezet met stap 2. Dit geldt ook voor andere typen geschakelde steenzettingen, zoals interlockelementen.

Stap 2 Black-boxgrafieken (eenvoudige toetsing)

stap 2.1 berekening
Net als bij niet-geschakelde steenzettingen is de relatie tussen de belastingparameter en de sterkteparameter afhankelijk van het type constructie. Type 1, 2 en 3 zijn niet-geschakelde steenzettingen (zie 4.2.2, stap 2); voor geschakelde steenzettingen wordt eenzelfde hoofdindeling met bijbehorende toetsregels aangehouden. In figuren 5.1-5.5 staan de toetsregels voor de volgende vijf typen, zowel in formulevorm als in grafische vorm:

4 geschakelde steenzetting op geokunststof op zand of klei: zie figuur 5.1 voor toetsregels;
5 steenzetting op 'goede/erosiebestendige' klei (c1): zie figuur 5.2 voor toetsregels;
6a geschakelde steenzetting op granulaire laag: gunstige constructies: zie figuur 5.3 voor toetsregels;
6b geschakelde steenzetting op granulaire laag: normale constructies: zie figuur 5.4 voor toetsregels;
6a geschakelde steenzetting op granulaire laag: ongunstige constructies: zie figuur 5.5 voor toetsregels.

Voor de definitie van 'goed/erosiebestendig' zie bijlage A.7.3. Een steenzetting op 'matig erosiebestendige' of 'weinig erosiebestendige' klei (c2 en c3) kan op toplaaginstabiliteit in principe op dezelfde manier worden getoetst, maar dat is niet zinvol omdat zo'n bekleding direct 'onvoldoende' scoort op het beoordelingsspoor materiaaltransport vanuit de ondergrond, zie stap 2 in 4.5.

CRITERIA VOOR DE ONDERVERDELING VAN TYPE 6

De criteria voor de onderverdeling van type 6 zijn globaal hetzelfde als voor type 3, zie 4.2.1. Voor constructies van type 6 geldt altijd:
- als de toplaag is ingezand/ingeslibd maar de granulaire laag niet, is direct geavanceerde toetsing nodig;
- een steenzetting waarvan de granulaire laag én de toplaag zijn ingezand/ingeslibd en waarvan de toplaag niet is ingewassen met granulair materiaal, hoort bij type 3c.

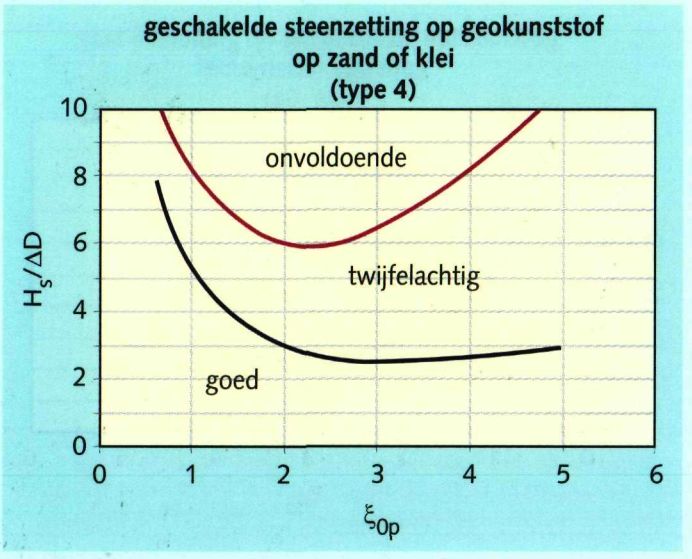
Verder is de type-indeling (type 6a, 6b óf 6c) afhankelijk van een aantal constructieve kenmerken:
- Type 6a gunstige constructies: een relatief open toplaag en een dunne granulaire laag van fijn materiaal. Concreet moet aan elk van de volgende drie voorwaarden worden voldaan:
  - groot open-ruimtepercentage: $\Omega > 3\%$, én
  - relatief dunne granulaire laag: $b_g < 0{,}5 \bullet D$, én
  - fijn granulair materiaal: $D_{15} < 10$ mm.

- Type 6b normale constructies: er moet aan één van de volgende vier voorwaarden worden voldaan:
  - dunne granulaire laag: $b_g < 0{,}5 \bullet D$, óf
  - gematigd dikke granulaire laag maar wel van fijn materiaal: $b_g \geq 0{,}5 \bullet D$ én $D_{15} < 5$ mm, óf
  - gematigd dikke granulaire laag maar wel relatief open toplaag: $b_g \geq 0{,}5 \bullet D$ én $\Omega > 2\%$, óf
  - dikke granulaire laag maar wel van zeer fijn materiaal: $b_g \geq 0{,}7 \bullet D$ én $D_{15} < 3$ mm.

- Type 6c ongustige constructies: er wordt niet voldaan aan de voorwaarden voor type 6a en 6b.

Voor de invloed van penetratie van de toplaag met asfalt, zie 5.4.

Kader 5.1



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}3$, dan $H_s/\Delta D < 5{,}192\ \xi_{0p}^{-0{,}817}$

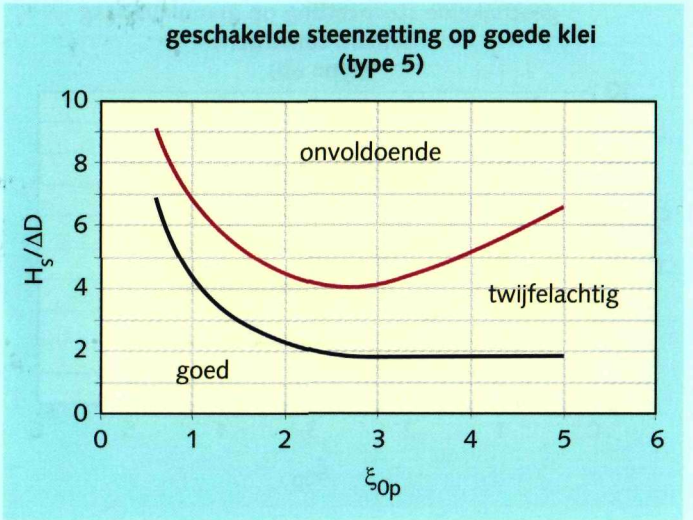
als $2{,}3 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 21\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}33\ \xi_{0p} + 1{,}18$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 1{,}8$, dan $H_s/\Delta D > 8{,}1\ \xi_{0p}^{-0{,}47}$

als $1{,}8 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 26\ \xi_{0p}^{-0{,}5} + 3{,}8\ \xi_{0p} - 20{,}03$

Figuur 5.1
Eenvoudige toetsing type 4



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D < 4{,}31\ \xi_{0p}^{-0{,}926}$

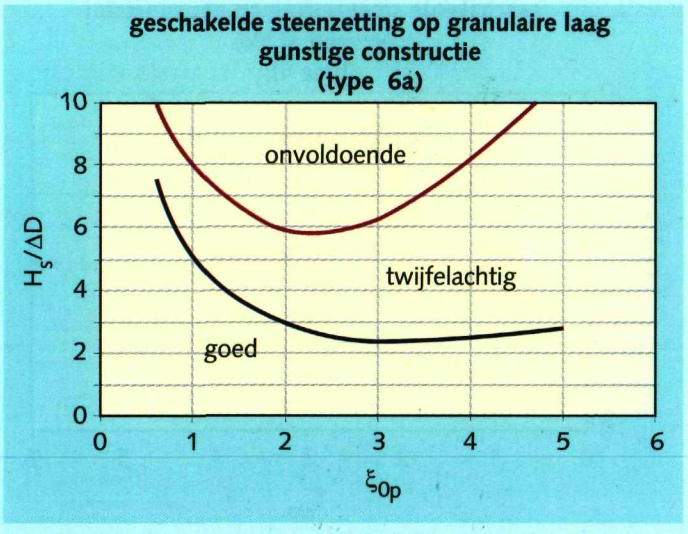
als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 11\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}09\ \xi_{0p} + 1{,}38$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}2$, dan $H_s/\Delta D > 6{,}78\ \xi_{0p}^{-0{,}588}$

als $2{,}2 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 17\ \xi_{0p}^{-2} + 1{,}84\ \xi_{0p} - 3{,}25$

Figuur 5.2
Eenvoudige toetsing type 5



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}4$, dan $H_s/\Delta D < 5{,}06\ \xi_{0p}^{-0{,}783}$

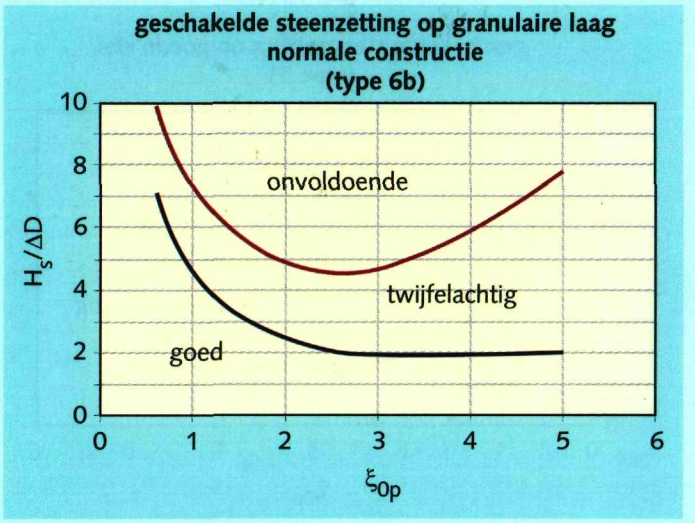
als $2{,}4 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 23\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}33\ \xi_{0p} + 1{,}1$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}0$, dan $H_s/\Delta D > 7{,}97\ \xi_{0p}^{-0{,}435}$

als $2{,}0 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 30\ \xi_{0p}^{-0{,}5} + 4{,}2\ \xi_{0p} - 23{,}6$

Figuur 5.3
Eenvoudige toetsing type 6a



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}4$, dan $H_s/\Delta D < 4{,}53\ \xi_{0p}^{-0{,}886}$

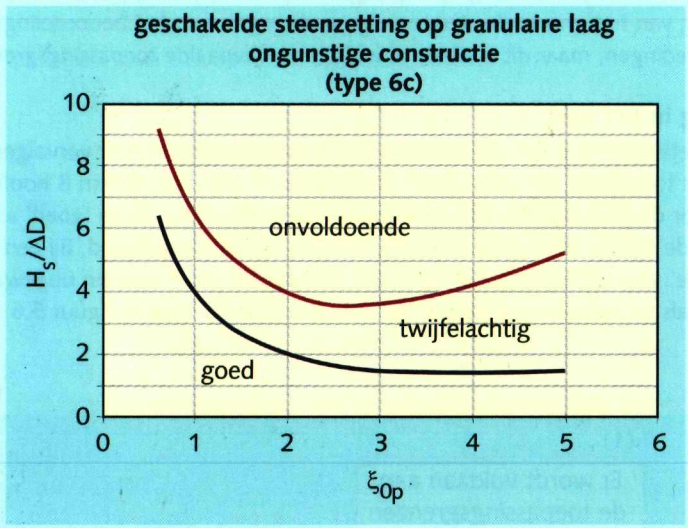
als $2{,}4 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 15\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}14\ \xi_{0p} + 1{,}28$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}0$,dan $H_s/\Delta D > 7{,}3\ \xi_{0p}^{-0{,}6}$

als $2{,}0 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 28\ \xi_{0p}^{-0{,}5} + 3{,}4\ \xi_{0p} - 21{,}68$

Figuur 5.4
Eenvoudige toetsing type 6b



Voorwaarde voor score 'goed':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}6$, dan $H_s/\Delta D < 3{,}97\ \xi_{0p}^{-0{,}96}$

als $2{,}6 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D < 12\ \xi_{0p}^{-4} + 0{,}06\ \xi_{0p} + 1{,}18$

Voorwaarde voor score 'onvoldoende':

als $0{,}6 < \xi_{0p} \leq 2{,}0$, dan $H_s/\Delta D > 6{,}5\ \xi_{0p}^{-0{,}7}$

als $2{,}0 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 12\ \xi_{0p}^{-1} + 1{,}62\ \xi_{0p} - 5{,}23$

Figuur 5.5
Eenvoudige toetsing type 6c

stap 2.2 steenzetting met of zonder granulaire laag

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 2.1 hangt het vervolg van de toetsing af van het type constructie. Voor steenzettingen op een granulaire laag (type 6) moet de toetsing worden voortgezet met de gedetailleerde methode (stap 3). Voor de overige steenzettingen (type 4 en 5) bestaat geen gedetailleerde methode en is bij een score 'twijfelachtig' geavanceerde toetsing nodig (stap 4, zie 4.2.2).

Stap 3 Analytische methode (gedetailleerde toetsing)

Bij de gedetailleerde toetsing op toplaaginstabiliteit van geschakelde elementen wordt exact dezelfde werkwijze gevolgd als voor niet-geschakelde elementen (berekening met ANAMOS, zie 4.2.2, stap 3), maar daarbij kan rekening worden gehouden met 10% extra sterkte. In de rekenmethode kan deze extra sterkte tot uitdrukking worden gebracht door voor de toplaagdikte te werken met een rekenwaarde die 10% hoger is dan de werkelijke dikte. Voor alle overige parameters wordt de werkelijke waarde gebruikt.

Ook hier geldt dat bij een score 'twijfelachtig' in de gedetailleerde toetsing een eindscore kan worden bereikt door geavanceerde toetsing (stap 4, zie 4.2.2).

5.2 DOORGROEISTENEN

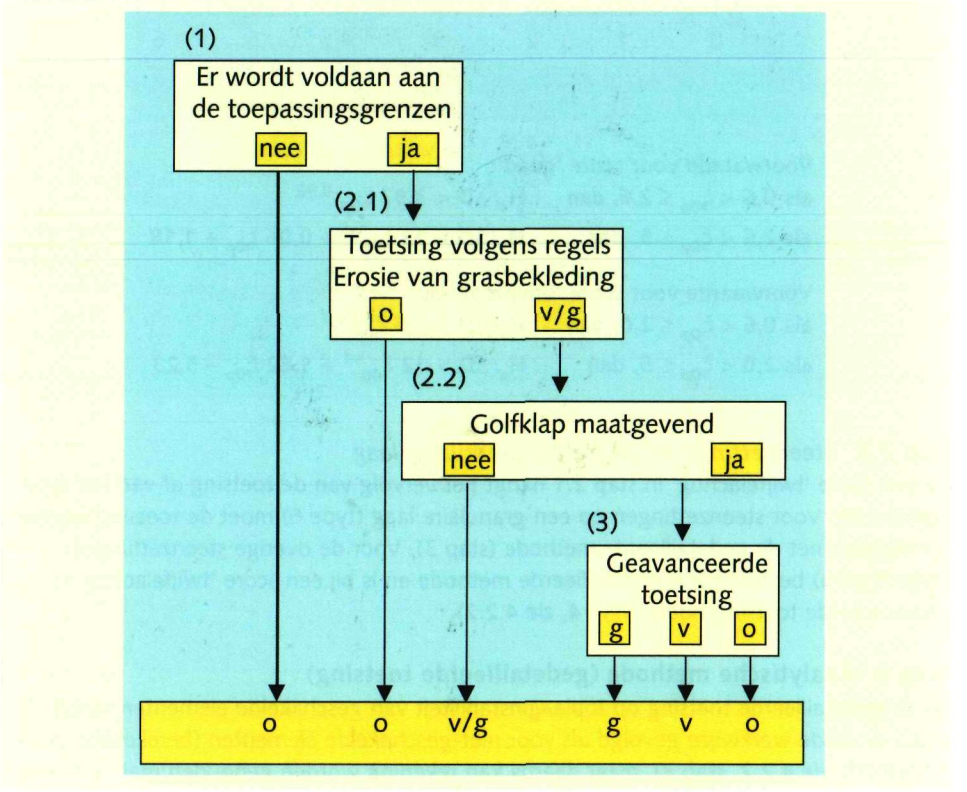
Voor doorgroeistenen gelden de stroomschema's in figuur 4.1 en 4.2 ook, zie blz. 70.

De beoordeling van doorgroeistenen verloopt identiek aan die van standaard-steenzettingen. Voor de beoordelingssporen afschuiving, materiaaltransport en erosie van de onderlagen gelden dezelfde schema's als voor steenzettingen, maar voor toplaaginstabiliteit – zowel onder golfaanval als onder langsstroming – gelden afwijkende

regels. Daarom wordt de toetsing op toplaaginstabiliteit hier behandeld. De kern daarvan is de toetsing van het gras in de stenen volgens de regels van het beoordelingsspoor erosie van grasbekledingen, maar dit is alleen zinvol binnen bepaalde toepassingsgrenzen.

De toetsing in het kort

De eerste toetsingsstap is een controle van deze toepassingsgrenzen, vervolgens worden de grasregels toegepast, zie *Voorschrift Toetsen op Veiligheid*, Katern 8 hoofdstuk 4. Specifiek voor de golfklapzone (de zone onder Toetspeil) is een score 'goed' alleen mogelijk als de sterkte door geavanceerde toetsing wordt aangetoond. Bij een score 'onvoldoende' voor de toplaag kan ook voor dit type de score worden opgewaardeerd tot 'voldoende' als de reststerkte volstaat, zie 4.7. Het schema staat in figuur 5.6.



Figuur 5.6
Beoordelingsschema doorgroeistenen

Stap 1 Toepassingsgrenzen (eenvoudige toetsing)

De grasregels zijn in twee gevallen toepasbaar voor doorgroeistenen:
- bij belasting door stroming of golfoploop;
- in de golfklapzone (dus onder Toetspeil) als $H_s \leq 0{,}5$ m.

Als de doorgroeistenen in de golfklapzone (dus onder Toetspeil) worden belast door golven met $H_s > 0{,}5$ m is de score 'onvoldoende'. Als dat niet het geval is wordt de toetsing voorgezet met stap 2.

Stap 2 Toetsing volgens regels erosie van grasbekledingen (eenvoudige/ gedetailleerde toetsing)

stap 2.1 rekenregels
De toetsing volgens de regels voor erosie van grasbekledingen wordt behandeld in het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid*, Katern 8 hoofdstuk 4. De bepaling van de belasting verloopt exact hetzelfde als voor grasbekledingen. De sterkte van een grasbekleding wordt in eerste instantie afgeleid uit de beheersvorm, maar als dat geen goede indicatie geeft wordt de kwaliteit in het veld bepaald. Dezelfde werkwijze kan ook voor doorgroeistenen worden gevolgd.
Een score 'onvoldoende' volgens deze regels is ook de eindscore. Bij een score 'goed' of 'voldoende' wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2.

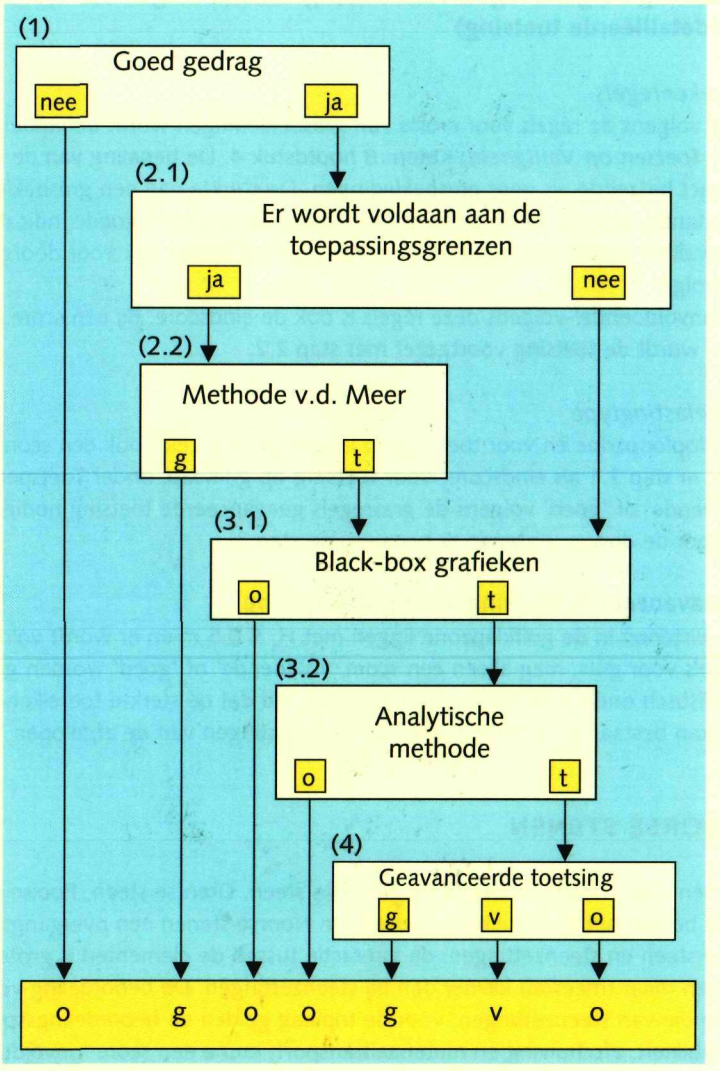
stap 2.2 belastingtype
Voor de golfoploopzone en voor toetsing op langsstroming geldt ook een score 'goed' of 'voldoende' in stap 2.1 als eindscore. Voor toetsing op golfklap, onder Toetspeil, is bij een score 'voldoende' of 'goed' volgens de grasregels geavanceerde toetsing nodig om een eindscore voor de doorgroeistenen te bepalen, zie stap 3.

Stap 3 Geavanceerde toetsing voor golfklapzone
Als doorgroeistenen in de golfklapzone liggen met $H_s \leq 0{,}5$ m en er wordt voldaan aan de toetsregels voor gras, mag alleen een score 'voldoende' of 'goed' worden gegeven als door specialistisch onderzoek kan worden aangetoond dat de sterkte toereikend is. Dit onderzoek kan bestaan uit een evaluatie van de belastingen van de afgelopen 10 jaar.

5.3 NOORSE STENEN

Noorse stenen staan ook wel bekend als Noordse steen, Drentse steen, Poolse steen of flinten. Wat betreft het constructieve gedrag zijn Noorse stenen een overgangsvorm tussen breuksteen en steenzettingen: de interactie tussen de elementen is groter dan bij breuksteen maar (meestal) kleiner dan bij steenzettingen. De beoordeling verloopt identiek aan die van steenzettingen: voor de toplaag gelden de beoordelingssporen toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport, en na een score 'onvoldoende' op één van deze sporen kan via een toetsing op erosie van de onderlagen alsnog een score 'voldoende' worden behaald. Voor de beoordelingssporen afschuiving, materiaaltransport en erosie van de onderlagen gelden dezelfde toetsschema's als voor steenzettingen, maar voor toplaaginstabiliteit gelden afwijkende regels. Daarom wordt de toetsing op toplaaginstabiliteit hier behandeld.

De toetsing in het kort
De eerste toetsingsstap betreft het gedrag. Vervolgens wordt de bekleding als een ondergrensbenadering getoetst als een breuksteentalud (stap 2). Als hieruit een score 'goed' volgt, is dat ook de eindscore. In stap 3 wordt juist een bovengrensbenadering toegepast door de bekleding te toetsen als een steenzetting. Alleen als hieruit een score 'onvoldoende' volgt, is dat ook de eindscore. In alle andere gevallen is geavanceerde toetsing nodig (stap 4). De beoordeling op toplaaginstabiliteit verloopt volgens het schema in figuur 5.7. Bij een score 'onvoldoende' voor de toplaag kan ook voor dit type de score worden opgewaardeerd tot 'voldoende' als de reststerkte volstaat, zie 4.7.



Figuur 5.7
Beoordelingsschema Noorse stenen op toplaaginstabiliteit

Stap 1 Gedrag (eenvoudige toetsing)

De eerste stap is beoordeling op gedrag. Hiervoor gelden dezelfde overwegingen als voor gewone steenzettingen, zie kader 4.2.

Stap 2 Toetsing als breuksteen

stap 2.1 toepassingsgrenzen (eenvoudige toetsing)

De rekenregels van de methode Van der Meer in stap 2.2 zijn alleen toepasbaar als de spreiding in de afmetingen van de Noorse stenen niet te groot is. De regels kunnen worden toegepast als de grote stenen in de toplaag (conform de breuksteenregels de grove fractie D_{n85}) minder dan 1,5 maal zo groot zijn als de kleine stenen in de toplaag (de fijne fractie D_{n10}). Als hieraan niet wordt voldaan wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

stap 2.2 methode Van der Meer (gedetailleerde toetsing)
Een bekleding van Noorse stenen kan worden getoetst volgens de methode Van der Meer. Deze methode is eigenlijk bedoeld voor losgestorte breuksteen met een minimale laagdikte van 2 maal de steendiameter, terwijl Noorse stenen niet losgestort zijn en de toplaag uit slechts één laag bestaat. De parameterwaarden kunnen zodanig worden gekozen dat de regel kan worden gebruikt als een conservatieve rekenregel voor Noorse stenen. De beoordeling in deze stap is een ondergrensbenadering, want inklemming wordt verwaarloosd en voor een score 'goed' wordt een laag schadecriterium gehanteerd. Wanneer de taludbekleding aan deze methode voldoet, dan is de bekleding zeker veilig.

Het toetsresultaat is afhankelijk van de waarde van het schadegetal S. Dit wordt als volgt berekend:

$$S = 1{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{N} \cdot \left(\frac{H_s \cdot \sqrt{\xi_m}}{\Delta D_{n50} \cdot P^{0{,}18}} \right)^5$$

met

$$\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_s \cdot 2\pi}{g \cdot T_m^2}}}$$

Parameters die niet bekend zijn vanuit de rekenregels van steenzettingen:

S	=	schadegetal	[-]
N	=	aantal golven in maatgevende storm	[-]
ξ_m	=	brekerparameter gebaseerd op T_m	[-]
D_{n50}	=	nominale steendiameter, gebaseerd op M_{50}	[m]
P	=	permeabiliteit van het talud	[-]
T_m	=	gemiddelde golfperiode = T_p / 1,1 à 1,3, zie bijlage A.1.2	[s]

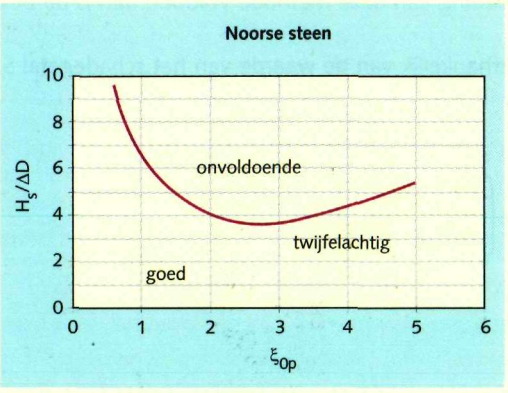
De parameters worden behandeld in bijlage A. Voor de vaak voorkomende situatie waarin de Noorse stenen liggen op een puinlaag van meer dan 1 m dik op een kleikern, kan voor de permeabiliteit P een waarde van 0,2 worden gebruikt. De formule van S wordt dan:

$$S = 4{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{N} \cdot \left(\frac{H_s \cdot \sqrt{\xi_m}}{\Delta D_{n50}} \right)^5$$

Een schadegetal S van 2 of lager resulteert in de score 'goed'. Gezien de ondergrensbenadering is met de score 'goed' tevens de eindscore bereikt. Hogere waarden van het schadegetal resulteren in 'twijfelachtig'. Bij een score 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3 Toetsing als steenzetting

stap 3.1 black-boxgrafieken (eenvoudige toetsing)
In lijn met stap 2 van de toetsing op toplaaginstabiliteit van standaard steenzettingen kan een bekleding van Noorse stenen worden getoetst aan de bekende empirische relaties tussen de sterkteparameter $H_s/\Delta D$ en de belastingparameter ξ_{0p}. Hiervoor kan de grafiek in figuur 5.8 worden gebruikt, gebaseerd op de toetsgrafiek van constructietype 3b.



Voorwaarde voor score 'onvoldoende':
als $0,6 < \xi_{0p} \leq 2,1$, dan $H_s/\Delta D > 6,68\ \xi_{0p}^{-0,723}$
als $2,1 < \xi_{0p} \leq 5$, dan $H_s/\Delta D > 12,0\ \xi_{0p}^{-1,5} + 1,5\ \xi_{0p} - 3,12$

Figuur 5.8
Eenvoudige toetsing Noorse stenen als steenzetting

Bij een score 'onvoldoende' is dat ook de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met stap 3.2. Vanwege de bovengrensbenadering kan in stap 3.1 geen score 'goed' worden gehaald.

stap 3.2 analytische methode (gedetailleerde toetsing)
In lijn met stap 3 van de toetsing op toplaaginstabiliteit van standaard steenzettingen kan een bekleding van Noorse stenen worden getoetst door een berekening met ANAMOS. De Noorse stenen kunnen in ANAMOS worden geschematiseerd als blokken of als zuilen, afhankelijk van de regelmatigheid van de spleetbreedte. Voor alle invoerparameters kunnen verder reële rekenwaarden worden ingevuld.

Net als bij de gedetailleerde toetsing van standaard steenzettingen kan een score 'onvoldoende' pas worden gegeven als het eindresultaat van ANAMOS zelfs 'instabiel' is als de toplaagdikte D met 1,5 is vermenigvuldigd. In alle andere gevallen is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 4.

Stap 4 Geavanceerde toetsing
Bij een score 'twijfelachtig' volgens stap 2 of stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken. Een belangrijk onderdeel daarvan is het karakteriseren van de bekleding om te bepalen welke rekenregels toepasbaar zijn, zie Achtergronden 8.3 voor aandachtspunten.

5.4 GEPENETREERDE STEENZETTINGEN

Bij gepenetreerde steenzettingen worden twee verschijningsvormen onderscheiden: oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) en 'vol en zat' gepenetreerde (ingegoten) steenzettingen. Een steenzetting is ingegoten als de spleten van boven af tot meer dan de helft van de toplaagdikte gevuld zijn met asfalt of beton.

Een ingegoten bekleding in goede staat moet worden getoetst op vier mechanismen:
- afschuiving, op dezelfde manier als een standaard steenzetting, zie 4.4;
- materiaaltransport, op dezelfde manier als een standaard steenzetting, zie 4.5 en 4.6;
- oplichten van de toplaag, zie 5.4.1;
- erosie van de onderlagen, op dezelfde manier als een standaard steenzetting, zie 4.7.

In lijn met de werkwijze voor standaard steenzettingen is de slechtste score van de eerste drie mechanismen bepalend voor de eindscore, en kan reststerkte tot een eindscore 'voldoende' leiden als er een score 'onvoldoende' is bereikt voor materiaaltransport en/of oplichten van de toplaag. Net als bij standaard steenzettingen kan een 'onvoldoende' voor afschuiving niet door reststerkte worden gecompenseerd.

Als de penetratie niet in goede staat verkeert of als daar twijfel over bestaat, gelden niet alleen deze vier mechanismen, maar moet de bekleding ook worden getoetst op toplaaginstabiliteit alsof het een standaard steenzetting is, zie 5.4.2. Hetzelfde geldt voor oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzettingen.

5.4.1 Oplichten van de toplaag

Er wordt gewerkt aan rekenregels voor dit faalmechanisme, maar op het moment van verschijnen van dit technisch rapport zijn deze nog niet uitgekristalliseerd. Voor dit mechanisme is daarom op dit moment alleen geavanceerde toetsing mogelijk. Raadpleeg de Helpdesk Waterkeren. De stand van de kennis op het moment van verschijnen van dit technisch rapport wordt beschreven in Achtergronden 8.4.

5.4.2 Toplaaginstabiliteit voor gepenetreerde steenzetting

Ingegoten steenzettingen in slechte/twijfelachtige staat en overgoten steenzettingen moeten worden getoetst op afschuiving, materiaaltransport en oplichten van de toplaag, maar daarnaast ook op toplaaginstabiliteit, alsof het een standaard steenzetting is.

Voor de toetsing op toplaaginstabiliteit, zie 4.2. Er moet zowel op langsstroming als op golfbelasting worden getoetst. Stap 1 van beide sporen (gedrag) en de toetsing op langsstroming verlopen hetzelfde als voor standaard steenzettingen.

Als de granulaire laag niet is ingezand, is de black-boxmethode niet toepasbaar en is direct geavanceerde toetsing nodig.

Voor de toetsing op golfbelasting is de black-boxmethode geldig voor gepenetreerde bekledingen op een ingezande granulaire laag; deze bekleding valt onder type 3c, waarbij voor C_{slib} een waarde van 1,5 kan worden ingevuld. Als de score in deze stap 'twijfelachtig' is, is geavanceerde toetsing nodig: de analytische methode is niet toepasbaar voor gepenetreerde bekledingen.

5.5 BREUKSTEENOVERLAGING

De functie van de breuksteenoverlaging is bescherming van de onderliggende steenzetting tot en met de maatgevende omstandigheden. De tussenscore van de breuksteenoverlaging zelf is dus 'onvoldoende' als de onderliggende steenzetting onbeschermd is. Vervolgens kan alsnog een eindscore 'voldoende' worden gehaald door toetsing van de onderliggende steenzetting, inclusief de reststerkte, conform hoofdstuk 4. In de meeste gevallen zal de onderliggende steenzetting overigens 'onvoldoende' scoren, want de meeste overlagingen zijn juist daarom aangebracht en bovendien van recente datum.

Zoals aangegeven in 1.1.2 zijn er drie soorten breuksteenoverlagingen van steenzettingen. Deze drie soorten verschillen constructief zodanig dat voor alle drie een afzonderlijke rekenmethode geldt:

1 losse breuksteen: methode afgeleid van de formules van Van der Meer voor stabiliteit van breuksteen onder golfaanval;
2 patroon-gepenetreerde breuksteen: methode afgeleid van de formule van Pilarczyk voor stabiliteit van breuksteen onder golfaanval;
3 'vol en zat' gepenetreerde breuksteen: methode afgeleid van de rekenmethode voor stabiliteit van plaatbekledingen onder golfaanval.

Voor de toetsing van patroon- en 'vol en zat'-gepenetreerde breuksteen, zie de rekenregels in Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren [lit.8]. Alleen overlagingen met losse breuksteen worden in dit rapport behandeld.

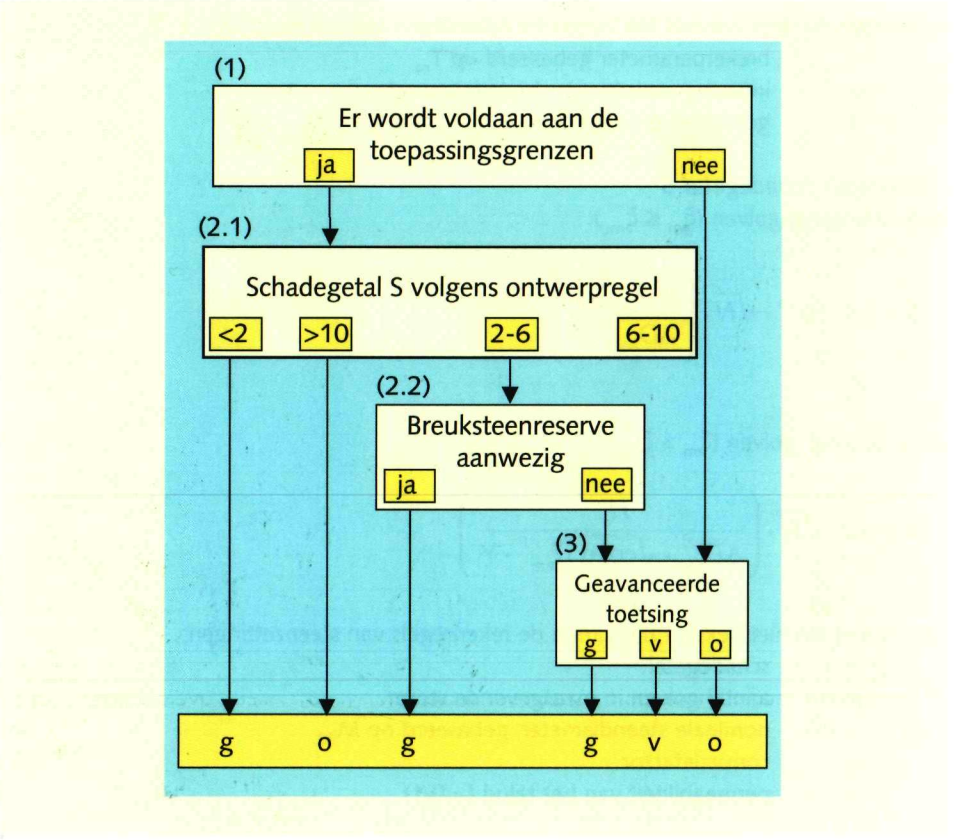
De kern van de toetsing wordt gevormd door rekenregels afgeleid van de formules van Van der Meer voor stabiliteit van breuksteen onder golfaanval die gelden voor het specifieke geval van overlaging van steenzettingen. De onderbouwing wordt gegeven in Achtergronden 8.5. De maatgevende belasting op een overlaging met losse breuksteen is de golfklap in combinatie met de golfterugloop over de niet-overlaagde (hoger op het talud gelegen) bekleding. Voor de berekeningen zijn de golfparameters relevant die horen bij de maatgevende waterstand; deze ligt voor een breuksteenoverlaging op het niveau van de werkelijke bovenkant van het breuksteenpakket.

De toetsing in het kort

Ten eerste moet worden nagegaan of de te toetsen constructie voldoet aan de toepassingsgrenzen van de rekenregels. Als dat niet het geval is, is geavanceerde toetsing nodig. Als de rekenregels wel toepasbaar zijn, kan het resulterende schadegetal direct tot een eindscore 'goed' of 'onvoldoende' leiden. In tussenliggende gevallen kan soms een eindscore worden bereikt door beter naar de aanwezige constructie te kijken; anders is geavanceerde toetsing nodig.

Bij een score 'onvoldoende' voor de overlaging kan de score worden opgewaardeerd tot 'voldoende' als de reststerkte volstaat. In eerste instantie wordt daarbij aangenomen dat de toplaag van de onderliggende steenzetting in dat geval ook 'onvoldoende' scoort, zodat alleen de toetsing op de reststerkte van toplaag, granulaire laag en kleilaag wordt uitgevoerd, zie 4.7.

Het beoordelingsschema staat in figuur 5.9.



Figuur 5.9 Beoordelingsschema overlaging met losse breuksteen

Stap 1 Toepassingsgrens

De laagdikte van de breuksteenoverlaging moet boven de gehele 'onvoldoende' steenzetting minimaal gelijk zijn aan $2D_{n50}$, gemeten loodrecht op het talud. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan wordt de toetsing voortgezet met stap 2, anders met stap 3.

Stap 2 Toepassing ontwerpregels

Het toetsresultaat is afhankelijk van de waarde van het schadegetal S. Er gelden verschillende formules voor twee typen golven: 'plunging' en 'surging', afhankelijk van de brekerparameter ξ_m. Als eerste worden de regels gegeven voor de bepaling van het type golf, vervolgens de rekenregels voor schadegetal S. Tenslotte worden in twee deelstappen de toetsregels gegeven (stap 2.1 en 2.2).

bepaling type golf

De golfaanval is van het type 'plunging' als de brekerparameter ξ_m kleiner of gelijk is aan de kritische waarde ξ_{mc} en van het type 'surging' in het andere geval. In formulevorm:
$\xi_m \leq \xi_{mc}$: 'plunging'
$\xi_m > \xi_{mc}$: 'surging'

Hierin is: $$\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_s \cdot 2\pi}{g \cdot T_m^{\,2}}}}$$

en: $$\xi_{mc} = (3\sqrt{\tan\alpha})^{\frac{1}{P+0,5}}$$

Parameters die niet bekend zijn vanuit de rekenregels van steenzettingen:

ξ_m	=	brekerparameter gebaseerd op T_m	[-]
ξ_{mc}	=	kritische waarde voor brekerparameter ξ_m	[-]
T_m	=	gemiddelde golfperiode = T_p / 1,1 à 1,3	[s]

Voor hellingen flauwer dan 1:4 vindt de overgang van 'plunging' naar 'surging' golven niet plaats en wordt gebruik gemaakt van de regels voor het type 'plunging'.

rekenregels schadegetal S

Voor 'plunging' golven ($\xi_m \leq \xi_{mc}$):

$$S = 8{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{N} \cdot \left(\frac{H_s \cdot \sqrt{\xi_m}}{\Delta D_{n50} \cdot Y} \right)^5$$

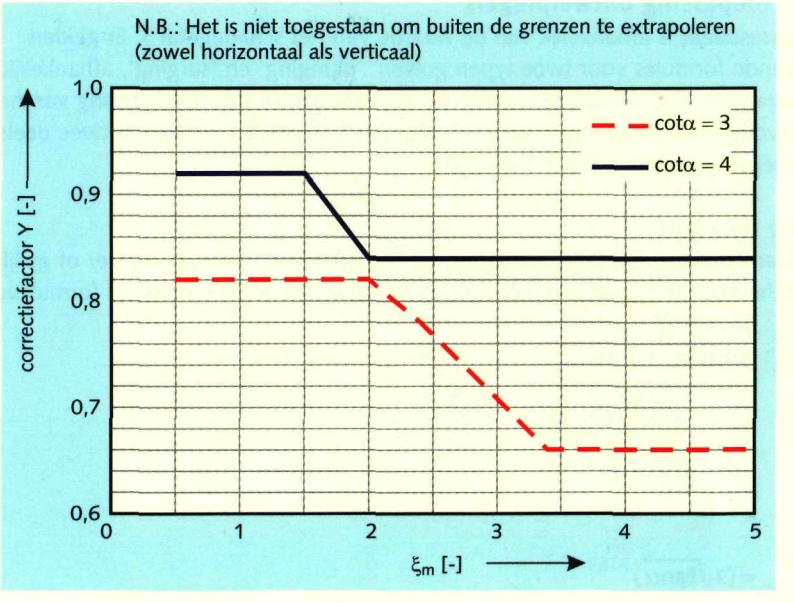
Voor 'surging' golven ($\xi_m > \xi_{mc}$):

$$S = 0{,}2 \cdot \sqrt{N} \cdot \left(\frac{H_s}{\Delta D_{n50} \cdot \sqrt{\cot\alpha} \cdot \xi_m{}^P \cdot Y} \right)^5$$

Parameters die niet bekend zijn vanuit de rekenregels van steenzettingen:

S	=	schadegetal	[-]
N	=	aantal golven in maatgevende storm	[-]
D_{n50}	=	nominale steendiameter, gebaseerd op M_{50}	[m]
Y	=	correctiefactor	[-]
P	=	permeabiliteit van het talud (= 0,1)	[-]

Behalve de correctiefactor Y worden de parameters behandeld in bijlage A. De waarde van de correctiefactor Y kan worden afgelezen in de grafiek van figuur 5.10 uitgezet als functie van ξ_m.

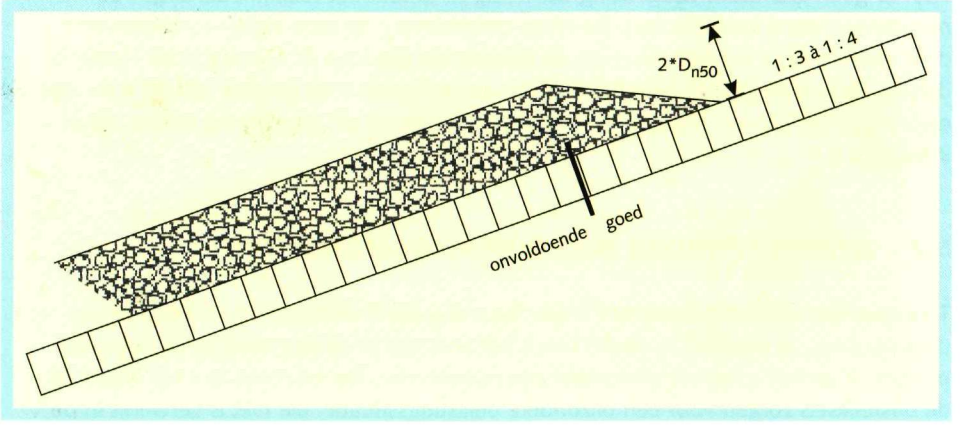


Figuur 5.10
Bepaling correctiefactor Y

stap 2.1 standaard-breuksteenregels
Het toetsingsresultaat van deze stap wordt als volgt bepaald door de waarde van S:
- de score is 'goed' als $S \leq 2$; dit is tevens de eindscore;
- de score is 'twijfelachtig' als $2 < S \leq 10$; als de waarde van S ligt tussen 2 en 6 ($2 < S \leq 6$) wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2. Bij waarden tussen 6 en 10 is geavanceerde toetsing nodig (stap 3);
- de score is 'onvoldoende' als $S > 10$; dit is tevens de eindscore.

stap 2.2 bijdrage van breuksteenreserve
In de ontwerpprocedure van breuksteenoverlaging wordt een schadegetal S van 4 aangehouden in plaats van de standaardwaarde van 2 voor breuksteentaluds. Deze hogere waarde is alleen acceptabel in combinatie met de aanwezigheid van een extra pakket breuksteen van dezelfde sortering bovenin het talud, waar de steenzetting zelf sterk genoeg is. Dit pakket moet (in dwarsdoorsnede) minimaal $3D_{n50}$ bevatten.

Een voorbeeld is schetsmatig weergegeven in figuur 5.11. De vereiste laagdikte van $2D_{n50}$ is onderdeel van stap 1. Als de breuksteenoverlaging vanaf de bovengrens van de 'onvoldoende' steenzetting horizontaal of oplopend is afgewerkt met breuksteen van dezelfde sortering als de overlaging, is de vereiste breuksteenreserve zeker aanwezig. In dat geval is bij $2 < S \leq 4$ de eindscore 'goed', en bij $4 < S \leq 6$ is de eindscore 'voldoende'. Als niet aan deze voorwaarden wordt voldaan is de tussenscore 'twijfelachtig' en is geavanceerde toetsing nodig (stap 3).



Figuur 5.11 Breuksteenreserve bij overlaging met losse breuksteen (stap 2.2)

Stap 3 Geavanceerde toetsing
Als de rekenregel niet toepasbaar is of als uit stap 2 een score 'twijfelachtig' volgt, is geavanceerde toetsing nodig om tot een eindscore te komen, zie Achtergronden 8.5.

5.6 STEENZETTINGEN MET AFSTANDHOUDERS

Voor steenzettingen met afstandhouders gelden de stroomschema's in figuur 4.1 en 4.2 ook, zie blz. 70.

De werkwijze voor steenzettingen met afstandhouders is dezelfde als voor steenzettingen zonder afstandhouders en ook de beoordelingsschema's voor toplaaginstabiliteit, afschuiving, materiaaltransport en erosie van de onderlagen zijn hetzelfde. Voor dit type bestaat daarom geen apart beoordelingsschema. Op detailniveau, binnen de toetssporen, zijn er twee verschillen: ten eerste moet de staat van de afstandhouders worden bekeken en ten tweede worden plat geplaatste blokken met afstandhouders afwijkend behandeld in de rekenregels.

De eerste afwijking is dat de gunstige invloed van het grotere open-ruimtepercentage bij de toetsing op toplaaginstabiliteit alleen in rekening mag worden gebracht als de afstandhouders naar verwachting ook onder maatgevende omstandigheden hun functie blijven vervullen. Hiervoor gelden twee eisen: ten eerste moet minimaal 90% van de afstandhouders op het moment van toetsing aanwezig zijn en in goede staat verkeren en ten tweede moeten er voorzieningen zijn getroffen om uitspoeling van de afstandhouders te voorkomen. Het is aan de beheerder om dit per geval te beoordelen; behalve de twee eisen kan daarbij worden gekeken naar de belastinggeschiedenis van de steenzetting. Met het resultaat van deze stap wordt als volgt omgegaan:

- Als de afstandhouders naar verwachting ook onder maatgevende omstandigheden hun functie blijven vervullen, kan de in het veld gemeten waarde van de open ruimte worden gebruikt als rekenwaarde voor de toetsing, zie ook bijlage A.3.3. De verdere toetsing verloopt hetzelfde als voor standaard steenzettingen.
- Als niet zeker is dat de afstandhouders ook onder maatgevende omstandigheden hun functie blijven vervullen, moet de steenzetting worden beschouwd als een ongunstige constructie. In dat geval kan de eenvoudige toetsing op toplaaginstabiliteit (4.2.2, stap 2) worden uitgevoerd alsof het een bekleding van type 3c betreft. Als hieruit een tussenscore 'twijfelachtig' volgt, is direct geavanceerde toetsing nodig.

De tweede bijzonderheid ten opzichte van standaard steenzettingen is, dat bij de toetsing op toplaaginstabiliteit afwijkend wordt omgegaan met platgeplaatste blokken met afstandhouders. Zoals beschreven in 1.1.3 en bijlage A.3.4 wordt in de rekenregels voor gedetailleerde toetsing 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 en -breedte: met modelonderzoek is vastgesteld dat dit type veel ongunstiger is; daarom moet bij de toetsing in dit geval wél worden ingevoerd dat er inwassing is.

5.7 STEENZETTINGEN MET RUWHEIDSELEMENTEN

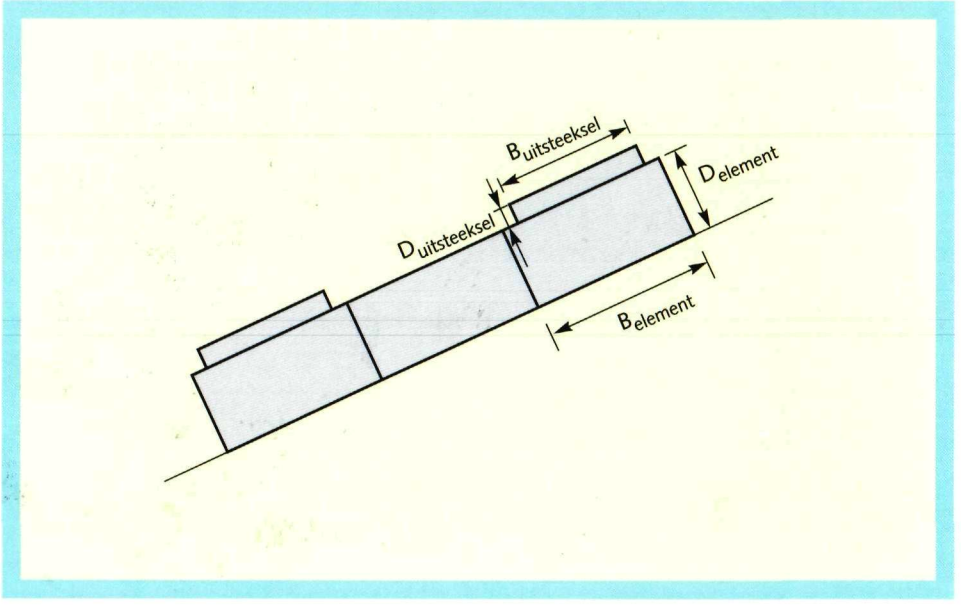
Toplagen met ruwheidselementen (zoals 'beverkoppen') worden soms toegepast om de golfoploop te verkleinen; verder komt het voor dat in de steenzetting uitstekende paaltjes of andere vreemde elementen zijn opgenomen. De krachten van het water op de uitsteeksels zorgen voor een bijzondere belastingssituatie, die niet is verwerkt in de rekenregels voor standaard steenzettingen: het kantelen en wrikken van de elementen. In deze paragraaf wordt besproken hoe in de toetsing met dit type steenzettingen moet worden omgegaan.

Voor steenzettingen met ruwheidselementen gelden de stroomschema's in figuur 4.1 en 4.2 ook, zie blz. 70.

De werkwijze voor de toetsing van steenzettingen met ruwheidselementen is dezelfde als voor steenzettingen zonder ruwheidselementen en ook de beoordelingsschema's voor afschuiving, materiaaltransport en erosie van de onderlagen zijn hetzelfde. Voor dit type steenzetting bestaat daarom geen apart beoordelingsschema. Het enige verschil is, dat de eenvoudige en gedetailleerde regels voor toplaaginstabiliteit alleen mogen worden toegepast binnen bepaalde voorwaarden. Als aan deze voorwaarden niet wordt voldaan, is geavanceerde toetsing op toplaaginstabiliteit nodig.

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 als volgt:

- de dikte van de uitsteeksels ($D_{uitsteeksel}$) moet kleiner zijn dan $^1/_3$ van de breedte van de elementen ($B_{element}$, zie figuur 5.12);
- de bedekkingsgraad is maximaal 25%, regelmatig verdeeld over het bekledingsoppervlak (dus maximaal één ruwheidselement per vier stenen);
- de ruwheidselementen mogen niet een doorgaande lijn vormen in lengterichting van de dijk.



Figuur 5.12
Definitie breedte en dikte bij ruwheidselementen

Als aan deze voorwaarden wordt voldaan, kan de steenzetting worden getoetst volgens de regels in hoofdstuk 4. In de berekeningen moet in dat geval geen rekening worden gehouden met de extra toplaagdikte (de dikte van het uitsteeksel).

Als niet aan de voorwaarden wordt voldaan, zijn de regels voor standaard steenzettingen te positief. Dit houdt in dat een steenzetting met uitsteeksels die volgens deze regels 'onvoldoende' scoort, ook werkelijk 'onvoldoende' is, terwijl bij een score 'goed' geavanceerde toetsing nodig is om de bijzondere belastingsituatie die ontstaat door de uitsteeksels in de toetsing te betrekken.

6 Toetsing van teen, overgangs- en aansluitingsconstructies

zie ook het uitvouwblad

De toetsregels in dit hoofdstuk gelden voor alle randen van bekledingsvakken: teenconstructies, horizontale en verticale overgangsconstructies en aansluitingsconstructies op kunstwerken. Deze constructies kunnen op twee manieren van belang zijn voor de veiligheid tegen overstroming: ze kunnen de stabiliteit van de erop aansluitende bekleding negatief beïnvloeden en ze kunnen zelf bezwijken. Beide bedreigingen worden behandeld als een beoordelingsspoor.

6.1 INVLOED OVERGANG OP TOPLAAGINSTABILITEIT ZOI

Overgangsconstructies of aansluitingsconstructies die de granulaire laag afsluiten kunnen de kans op toplaaginstabiliteit vergroten voor de steenzettingen er direct onder. Verder kan een grote sprong in de waterdoorlatendheid bij een overgang een ongunstige invloed hebben. Beide invloeden zijn alleen van belang voor steenzettingen in zone A: op het buitentalud onder Toetspeil.

Feitelijk wordt in dit beoordelingsspoor de invloed bepaald op de score voor het spoor toplaaginstabiliteit onder golfbelasting. Toetsing op deze invloed is overbodig als de aansluitende steenzetting zelf al als 'onvoldoende' is beoordeeld: de toetsing betreft alleen negatieve invloeden op de stabiliteit van de toplaagelementen. De score op het spoor Invloed overgang op toplaaginstabiliteit is 'onvoldoende' als de invloed van de overgang ervoor zorgt dat een steenzetting niet voldoet.

De toetsing in het kort

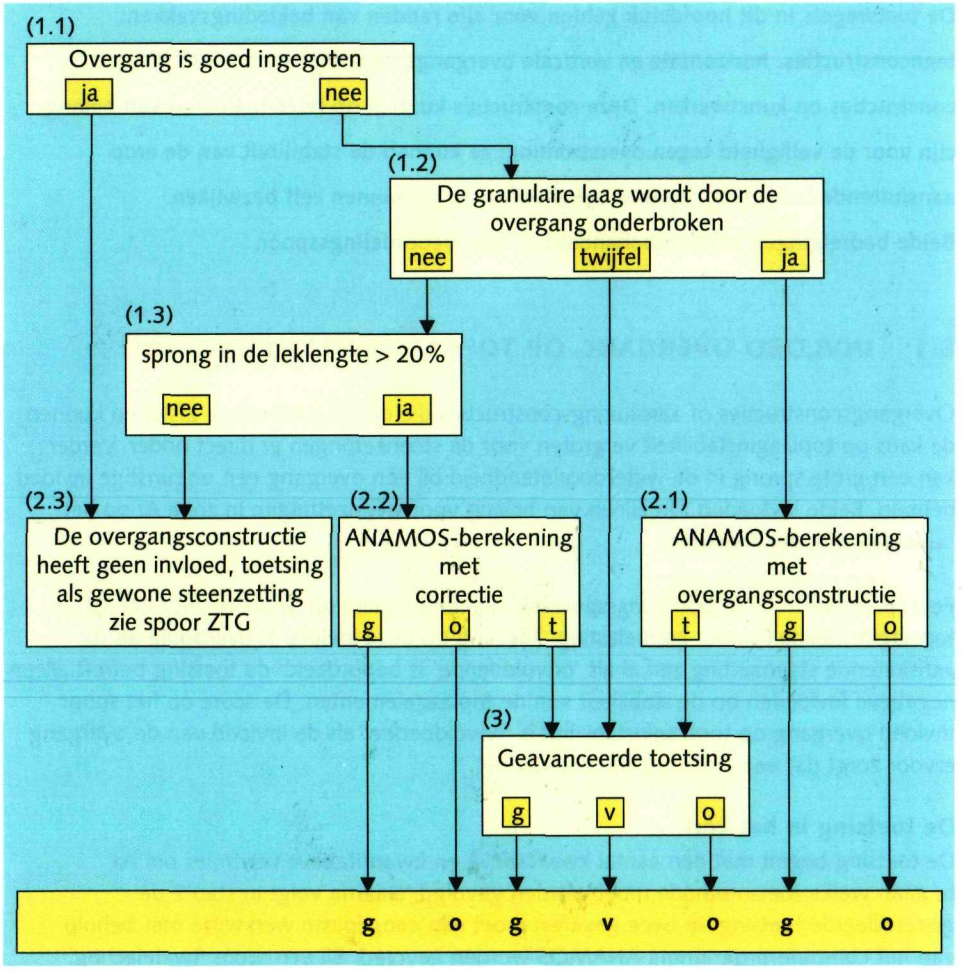
De toetsing begint met een aantal kwalitatieve en kwantitatieve controles om na te gaan welke toetsmethode moet worden gevolgd. Daarna volgt in stap 2 de gedetailleerde toetsing; in twee gevallen moet een aangepaste werkwijze met behulp van het computerprogramma ANAMOS worden gevolgd. Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig (stap 3). Bij een score 'onvoldoende' voor de toplaag kan ook in dit geval de score worden opgewaardeerd tot 'voldoende' als de reststerkte volstaat, zie 4.7. Het toetsschema staat in figuur 6.1.

Stap 1 Aard en staat van de overgangs- of aansluitingsconstructie

In deze stap wordt aan de hand van kwalitatieve en kwantitatieve controles nagegaan welke toetsmethode moet worden gevolgd.

stap 1.1 overgang ingegoten (eenvoudige toetsing)
Als de spleten tussen de constructie en de eronder aansluitende steenzetting zijn ingegoten met gietasfalt en deze aansluiting bevindt zich in goede staat, mag worden aangenomen dat de invloed van de overgang op de toplaaginstabiliteit afdoende wordt gecompenseerd. De omliggende steenzetting kan worden getoetst volgens de normale werkwijze, zie stap 2.3. Als er geen ingieting is of de staat ervan is twijfelachtig wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

stap 1.2 granulaire laag onderbroken (eenvoudige toetsing)
De belangrijkste invloed van de overgangsconstructie wordt veroorzaakt door afsluiting van de granulaire laag. Als vaststaat dat de te toetsen overgangsconstructie de granulaire laag afsluit, is de rekenmethode van ANAMOS met overgangsconstructies accuraat; de toetsing wordt voortgezet met stap 2.1. Als vaststaat dat de granulaire laag niet wordt afgesloten, hoeft de negatieve invloed niet in rekening te worden gebracht; de



Figuur 6.1 Beoordelingsschema invloed overgang op toplaaginstabiliteit ZOI

toetsing wordt voortgezet met stap 1.3. Als er twijfel bestaat of de granulaire laag wordt afgesloten, is geavanceerde toetsing nodig, zie stap 3.

stap 1.3 sprong in leklengte (gedetailleerde toetsing)
Als de waterbeweging in de granulaire laag niet door de overgang wordt onderbroken, is het van belang of de doorlatendheidseigenschappen tussen de twee aaneengesloten bekledingsvakken sterk variëren. De belasting op de toplaag (de stijghoogte in de granulaire laag) verloopt bij een overgang geleidelijk van het ene bekledingstype naar het andere. In geval van een grote sprong in de doorlatendheidseigenschappen leidt dit tot een belastingtoename voor één van beide bekledingen (en tot een belastingreductie voor de andere, maar die wordt in eenvoudige en gedetailleerde toetsing verwaarloosd).

Van belang is het verschil in de leklengte tussen de twee aaneengesloten bekledingen. De leklengte is een parameter die wordt bepaald door de laagdikte en waterdoorlatendheid van de toplaag en de granulaire laag en is een maat voor de verhouding tussen de transmissiviteit van de granulaire laag en de toplaag. Er is een negatief verband tussen de leklengte en de stabiliteit. De makkelijkste manier om de leklengte van een steenzetting te berekenen, is met behulp van ANAMOS: de leklengte staat in het uitvoerscherm onder Tussenresultaten.

Als het verschil tussen de leklengtes van de twee aaneengesloten steenzettingen groter dan 20% is, wordt de toetsing voor de bekleding met de kleinste van de twee leklengtes voortgezet met stap 2.2. De steenzetting met de grootste leklengte kan als een normale steenzetting worden getoetst (zie 4.2). Als de leklengte 20% of minder verschilt, kan worden gesteld dat de invloed van de overgang verwaarloosbaar is (in combinatie met het feit dat de granulaire laag door de overgangsconstructie niet wordt onderbroken). De steenzetting kan getoetst worden volgens de normale werkwijze zoals beschreven in 4.2. In het schema is dit weergegeven als stap 2.3.

Stap 2 Analytische methode (gedetailleerde toetsing)

stap 2.1 ANAMOS-berekening met overgangsconstructie
De gedetailleerde toetsing op toplaaginstabiliteit met ANAMOS wordt beschreven in 4.2.2, stap 3. Met deze methode kan ook de invloed van overgangen in rekening worden gebracht.

Normaal gesproken wordt de ANAMOS-berekening in de gedetailleerde toetsing op toplaaginstabiliteit zodanig uitgevoerd dat er geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van overgangsconstructies: de boven- en ondergrens van de constructie en de waterstand worden zodanig gekozen dat ANAMOS daarmee geen rekening houdt, zie bijlage B4, onder 1c.

Om de invloed van de overgang wél in rekening te brengen, moet het werkelijke niveau van de bovengrens van de steenzetting worden ingevoerd, overeenkomend met het niveau van de te toetsen overgang. Omdat de meest ongunstige situatie zich voordoet bij een waterstand die enige afstand boven de overgang ligt, moeten ANAMOS-berekeningen worden gemaakt voor alle waterstanden (stapsgewijs) tussen de overgang en het Toetspeil, met de bijbehorende golfparameters.

Het ongunstigste ANAMOS-resultaat bij al deze berekeningen is de tussenscore van stap 2.1. Voor de vertaling van ANAMOS-resultaten naar toetsscores, zie 4.2.2, stap 3. Een score 'goed' of 'onvoldoende' is tevens de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig, zie stap 3.

stap 2.2 ANAMOS-berekening met correctie voor leklengtesprong
Als het verschil tussen de leklengtes van de twee aaneengesloten steenzettingen groter dan 20% is, moet bij de toetsing van de bekleding met de kleinste van de twee leklengtes gerekend worden met de invloed van de overgang, over een strook ter breedte van de leklengte, met een minimum van 0,5 m. In die zone moet gerekend worden met een stijghoogteverschil gelijk aan het gemiddelde van de twee aaneengesloten steenzettingen. Het stijghoogteverschil staat in het uitvoerscherm van ANAMOS onder Tussenresultaten.

Voor de vertaling van ANAMOS-resultaten naar toetsscores wordt verwezen naar 4.2.2, stap 3. Een score 'goed' of 'onvoldoende' is tevens de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig, zie stap 3.

stap 2.3 toetsing als normale steenzetting
Verwezen wordt naar 4.2.2. De eindscore is 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende'.

Stap 3 Geavanceerde toetsing
Bij een score 'twijfelachtig' na gedetailleerde toetsing wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing. Aandachtspunten hiervoor worden gegeven in Achtergronden 7.3.

6.2 BEZWIJKEN VAN DE OVERGANGS-, TEEN- OF AANSLUITINGSCONSTRUCTIE ZOB

Er wordt eerst getoetst op een aantal kwalitatieve eisen en aandachtspunten (stap 1). Hieruit volgt een score 'onvoldoende' of 'goed'. Als geen uitsluitsel kan worden gegeven is de score 'twijfelachtig'; voor teenconstructies is dan in sommige gevallen een gedetailleerde toetsing mogelijk (stap 2). Tenslotte kan geavanceerde toetsing nodig zijn om de score te bepalen. Het beoordelingsschema staat in figuur 6.2.

Stap 1 Kwalitatieve voorwaarden (eenvoudige toetsing)

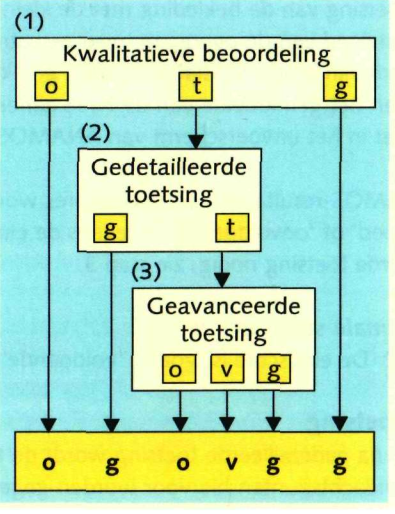
Een score 'onvoldoende' kan worden gegeven als één van de volgende verschijnselen wordt geconstateerd:

- verzakking van de constructie; dit kan tot uiting komen in het voorover hellen van de elementen erboven ('kammen') of de aanwezigheid van grote spleten tussen de toplaagelementen (alleen relevant voor de toetsing van teenconstructies en horizontale overgangsconstructies); overigens komt bij gekantelde betonblokken vaak het verschijnsel 'kammen' voor zonder dat dit veroorzaakt wordt door verzakking van de teen- of overgangsconstructie;
- materiaaltransport vanuit de ondergrond of vanuit de granulaire laag (relevant voor alle typen);
- slechte staat van de materialen van de constructie zelf (relevant voor alle typen).

Een score 'goed' kan volgen als aan elk van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- bovengenoemde verschijnselen zijn niet geconstateerd;
- de constructie heeft een aantal malen hydraulische belasting ondergaan; dit kan per geval bekeken worden, maar het geldt in ieder geval voor bekledingen die al enkele stormen hebben doorstaan, minimaal vijf jaar aanwezig zijn en die lager liggen dan GHW (bij zeedijken) of winterstreefpeil WP (bij meerdijken);
- specifiek bij teenconstructies moet ook aan de volgende voorwaarden worden voldaan:
  - de bovenliggende bekleding is niet steiler dan 1:2, want bij een steilere taludhelling kan de bekleding een significante kracht uitoefenen op de teenconstructie zodat die een bepaalde sterkte moet hebben;
  - er is niet een zodanige morfologische ontwikkeling van het voorland dat de teen erdoor wordt bedreigd.

In alle andere gevallen is de tussenscore 'twijfelachtig' en vervolgt de toetsing met stap 2.



Figuur 6.2 Beoordelingsschema bezwijken van overgangs-, teen-, of aansluitingsconstructies ZOB

Stap 2 Rekenregel teenbestorting (gedetailleerde toetsing)

In bepaalde gevallen kan een score 'goed' of 'voldoende' worden behaald door de stabiliteit van de eventuele teenbestorting door te rekenen. Voor overgangsconstructies en aansluitingsconstructies is stap 2 niet relevant omdat er geen teenbestorting is. Voor die constructies wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

stap 2.1 toepassingsvoorwaarden

De rekenregel van stap 2.2 kan alleen worden toegepast als aan elk van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De te toetsen constructie moet een teenbestorting bevatten met een minimale breedte van 5 m, een minimale laagdikte van $2D_{n50}$ en een minimale sortering van 10-60 kg.
- Er moet worden voldaan aan alle voorwaarden voor een score 'goed' in stap 1, behalve de tweede, dus er mag geen schade zijn geconstateerd, de bekleding moet flauwer zijn dan 1:2 en er mag geen bedreigende morfologische ontwikkeling zijn.

stap 2.2 rekenregel

Er bestaan aparte rekenregels voor situaties met en zonder golfaanval-reducerend voorland. Om te bepalen of een voorland golfaanval-reducerend is, moet eerst worden bepaald of het voldoende hoog en lang is om de reducerende invloed te kunnen rekenen. Vervolgens kan worden bepaald of de aanwezige breuksteensortering voldoende zwaar is.

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_{0p} 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 de toetsing 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 de toetsing van een bekleding is, zeker bij zee- en meerdijken, informatie beschikbaar over het verloop van de maatgevende golfhoogte als functie van de waterstand (buitendijks van het voorland); dit verloop wordt aangeduid als 'de randvoorwaardentabel'. De golflengte L_{0p} 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 voorlandniveau gebruikt op een halve golflengte L_{0p} vanaf de teen. Daarbij gaat het om de waarde van L_{0p} die het resultaat is van deze rekenprocedure, dus er is een iteratie nodig. Aanvankelijk kan worden uitgegaan van de grootste golflengte volgens de randvoorwaardentabel. Omdat de golflengte L_{0p} gelijk is aan $gT_p^2/2\pi$ (zie bijlage A.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: zet de golfhoogte (volgens de randvoorwaardentabel) en de halve waterdiepte (op basis van de waterstand uit de randvoorwaardentabel en de voorlanddiepte uit het vorige stapje) in één grafiek en op dezelfde schaal uit tegen de waterstand. De gezochte waterstand hoort bij het kruispunt van deze twee lijnen.
3 Bepaal de golflengte L_{0p} met de randvoorwaardentabel ($L_{0p} = gT_p^2/2\pi$, zie bijlage A.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 weer worden doorlopen. Omdat het alleen over flauwe voorlanden gaat (helling flauwer dan 1:30), is iteratie vaak niet nodig.

Als de linkerhelft van de vergelijking (lengte van het voorland) groter is dan de rechterkant (de gevonden waarde voor de golflengte L_{0p}), mogen de rekenregels voor de situatie met golfaanval-reducerend voorland worden gebruikt; voor het andere geval zijn aparte regels.

toetsregels voor situatie met golfaanval-reducerend voorland

Bij een golfaanval-reducerend voorland kan direct een score 'goed' worden gegeven als de breuksteensortering minimaal 10-60 kg is (zie stap 2.1) en de golfhoogte H_s bij alle waterstanden kleiner dan 2 m is. Komen in de randvoorwaardentabel hogere waarden voor H_s voor, dan moet de situatie beter worden bekeken. De toetsregel hangt dan af van het niveau van de bovenkant van de teenbestorting:

- Als de bovenkant van de teenbestorting op het niveau van het voorland ligt, volstaat een sortering 10-60 kg voor een eindscore 'goed', onafhankelijk van de golfaanval.
- Als de bovenkant van de teenbestorting boven het voorlandniveau ligt, wordt de breuksteensortering bepaald door de golfhoogte H_s 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_s kleiner is dan 2 m, dan volstaat ook een breuksteensortering 10-60 kg voor een score 'goed'. Bij een golfhoogte groter dan 2 m is een sortering 40-200 kg nodig voor een score 'goed'; als de sortering 10-60 kg is, volgt bij deze golfhoogte een eindscore 'voldoende'.

toetsregel 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 de sortering minimaal 10-60 kg moet zijn (zie stap 2.1), maar aanvullend daaraan moet een controleberekening worden gemaakt volgens de rekenregels 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). De maatgevende belasting hoort bij een waterstand op het niveau van de bovenzijde van de toplaag van de teenbestorting, zie bijlage A.1. Als de waarde van het schadegetal S 3 of kleiner is, is de score 'goed'.

Voor beide gevallen (met en zonder golfaanval-reducerend voorland) geldt: als de sortering te licht is voor een score 'goed' of 'voldoende', is de tussenscore van stap 2.2 'twijfelachtig' en is geavanceerde toetsing nodig om een score te geven.

Stap 3 Geavanceerde toetsing

Als de score in bovenstaande stappen niet 'goed', 'voldoende, of 'onvoldoende' is, is de score 'twijfelachtig' en moet geavanceerd worden getoetst, zie Achtergronden 7.3.

7 Omgaan met toetsingsresultaten

zie ook het uitvouwblad

In de voorgaande hoofdstukken zijn de toetsregels voor steenzettingen, aanverwante bekledingstypen en overgangs- en teenconstructies behandeld. Die leiden tot een berekende toetsscore. In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de beheerder van de steenzetting daarmee om kan gaan. Volgens de systematiek van het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* (VTV) wordt naast de berekende score een beheerdersoordeel gegeven (7.1). De samenvoeging van de toetsscores tot de eindscore per dijkringgebied wordt behandeld in 7.2. Als de toetsresultaten niet 'goed' zijn, moeten maatregelen worden genomen (7.3). In 7.4 worden tot slot aandachtspunten gegeven voor de rapportage over de toetsing van steenzettingen.

7.1 BEHEERDERSOORDEEL

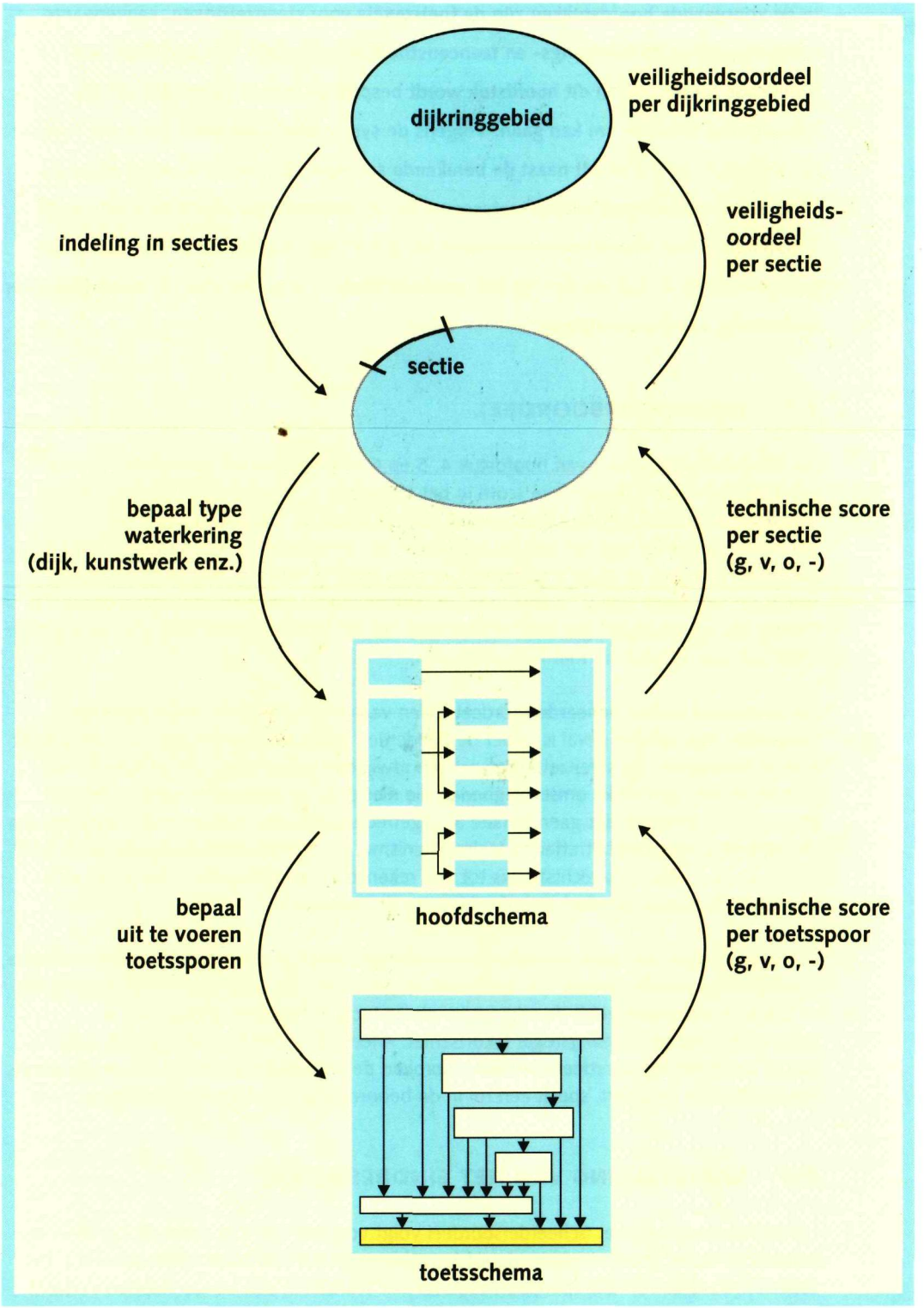
De beoordelingsschema's van hoofdstuk 4, 5 en 6 leveren voor elk beoordelingsspoor een rekenscore op. Omdat deze score in het algemeen is bepaald met (reken)modellen, wordt de rekenscore in de LTV aangeduid met de letter M. Daarnaast geeft de beheerder per spoor een oordeel op grond van zijn ervaringen en inschatting; dit is het beheerdersoordeel, in de LTV aangeduid met de letter B. Beide manieren van toetsing leiden tot een score 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' (of eventueel 'geen oordeel'). Overigens maken ervaringen en inschattingen van de beheerder ook deel uit van sommige schema's van de toetsing met rekenmodellen.

De rekenscore en het beheerdersoordeel zullen vaak overeenkomen, maar soms ook verschillen. Als dat het geval is, moet de beheerder aangeven waaróm zijn oordeel afwijkt van de rekenscore. Bij steenzettingen zal een afwijkend beheerdersoordeel kunnen voorkomen bij zeer specifieke omstandigheden die niet door de algemene regels worden gedekt, of in gevallen dat geen schade is opgetreden ondanks maatgevende belasting van de bekleding voor het betreffende faalmechanisme. Als wél schade is geconstateerd, leidt dit via de toetsschema's rechtstreeks tot een rekenscore 'onvoldoende', dus zal in zo'n geval het beheerdersoordeel niet afwijken van de rekenscore.

De rekenscore en het beheerdersoordeel worden als volgt gecombineerd tot de technische score (per beoordelingsspoor, per toetsvak). In geval van een afwijking tussen rekenscore en beheerdersoordeel geldt de rekenscore als de technische score, zolang niet is aangetoond dat de toetsingsregel tekortschiet. Alleen als de rekenscore 'geen oordeel' is, wordt het beheerdersoordeel normaal gesproken de technische score. De provincie, die als toezichthouder fungeert, speelt een rol in de beoordeling van deze inschattingen.

7.2 VASTSTELLING VAN HET EINDRESULTAAT

Uit de rekenscore en het beheerdersoordeel volgt voor elk spoor en voor elk toetsvak een technische score 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' (of eventueel 'geen oordeel'). De technische scores van alle sporen en toetsvakken worden in een aantal stappen vertaald tot de veiligheidsscore van de dijkring zoals die door de beheerder aan Gedeputeerde Staten moet worden gerapporteerd. Voor de toetsing als geheel is deze werkwijze weergegeven in figuur 7.1, ontleend aan de *Leidraad Toetsen op Veiligheid* [lit.3].



Figuur 7.1 Beoordelingswijze (Figuur 2-6.1 van VTV02)

Samenvoeging van de technische scores van de beoordelingssporen uit hoofdstuk 4, 5 en 6, conform het stroomschema van figuur 4.1 of figuur 4.2, levert de technische score per toetsvak van de bekleding op.

In het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* (VTV) wordt de term sectie gebruikt voor een deel van de waterkering in lengterichting met uniforme eigenschappen t.a.v. de toetsing. In het algemeen bevinden zich meerdere toetsvakken boven elkaar in één sectie; de technische score van de steenzetting per sectie is de slechtste score van de boven elkaar gelegen toetsvakken. Samen met de scores van de andere bekledingstypen in dezelfde sectie leidt dit tot de technische score van beoordelingsspoor STBK van dijken, zie I.3.

Bij de toetsing op veiligheid van een dijk worden meestal meer faalmechanismen getoetst dan alleen de bekleding (kruinhoogte en stabiliteit van de waterkering). De technische score van een sectie is gelijk aan de ongunstigste score van alle beoordelingssporen ('goed', 'voldoende' of 'onvoldoende').

Ten behoeve van de rapportage van beheerder aan provincie worden de technische scores per sectie vertaald naar veiligheidsscores. De technische scores 'goed' en 'voldoende' worden samengevat tot de veiligheidsscore 'voldoet aan de norm'; de technische score 'onvoldoende' wordt vertaald naar de veiligheidsscore 'voldoet niet aan de norm'.

Tenslotte wordt de veiligheidsscore per dijkring bepaald, waarbij de score van de ongunstigste sectie bepalend is.

7.3 MAATREGELEN OP GROND VAN DE TOETSRESULTATEN

Als voor een bepaald spoor op een bepaald toetsvak de technische score niet 'goed' is, moeten zodanige maatregelen worden getroffen dat bij een volgende toetsing de score 'goed' wel bereikt wordt. Als de toetsing plaatsvindt binnen de reguliere vijfjaarlijkse toetsing, moet de beheerder in de rapportage aan de provincie aangeven welke maatregelen op welke termijn zullen worden uitgevoerd. In bijzondere gevallen, zoals Project Zeeweringen en Landelijke Inventarisatie Steenzettingen, speelt Rijkswaterstaat hierin een belangrijke rol (in overleg met de beheerder). In deze paragraaf wordt aangegeven welk soort maatregelen in aanmerking komen bij welke toetsscore.

Eindscore 'geen oordeel'

In het VTV is 'geen oordeel' geen mogelijke uitkomst van een beoordelingsschema meer, dus ook niet van beoordelingsschema's voor steenzettingen. Echter, als kennis of gegevens ontbreken, is deze score in de praktijk misschien nog wel mogelijk. Als ook geavanceerde toetsing geen uitsluitsel geeft door gebrek aan kennis, bestaat de maatregel uit 'afwachten van kennisontwikkeling'. Eventueel kunnen ook in zo'n geval veiligheidsmaatregelen worden getroffen om tot een score 'voldoet aan de norm' te komen (constructief of in calamiteitenplannen). Als onvoldoende gegevens bekend zijn, moeten de benodigde gegevens worden vergaard om de toetsing af te ronden.

Eindscore 'voldoende'

Bij steenzettingen is een eindscore 'voldoende' alleen mogelijk na geavanceerde toetsing, of als de toplaag 'onvoldoende' of 'geen oordeel' scoort op toplaaginstabiliteit of materiaaltransport, maar de toplaag, granulaire laag en de aanwezige klei leveren genoeg reststerkte om erosie van de onderlagen zodanig te beperken dat geen overstroming plaatsvindt binnen de maatgevende belastingduur.

Hoewel de veiligheidsscore 'voldoet aan de norm' luidt, zal de beheerder in de meeste gevallen toch maatregelen treffen om tot een score 'goed' te komen. De bijbehorende maatregelen zijn afhankelijk van het beoordelingsspoor waarin de score 'geen oordeel' of 'onvoldoende' bereikt is, zie Eindscore 'geen oordeel' hierboven en Eindscore 'onvoldoende' hieronder.

Eindscore 'onvoldoende'

De benodigde maatregelen zijn afhankelijk van het beoordelingsspoor waarin de score 'onvoldoende' bereikt is.

Voor alle faalmechanismen is een mogelijke maatregel het verlagen van de golfbelasting, bijvoorbeeld door het aanbrengen van golfbrekers of een hoog voorland.

Bij een 'onvoldoende' op toplaaginstabiliteit zijn in principe de volgende maatregelen mogelijk:
- aanbrengen van een nieuwe steenzetting met flauwer talud en/of zwaardere toplaagelementen en/of een gunstiger toplaagtype en/of een dunnere en minder doorlatende granulaire laag;
- overlagen van de steenzetting met breuksteen.

Bij een 'onvoldoende' op afschuiving zijn in principe de volgende maatregelen mogelijk:
- aanbrengen van een nieuwe steenzetting (met flauwer talud en/of zwaardere toplaagelementen en/of een dikkere granulaire laag en/of een dikkere kleilaag);
- overlagen van de steenzetting met breuksteen.

Bij een 'onvoldoende' op materiaaltransport is in principe de volgende maatregel mogelijk:
- aanbrengen van een nieuwe steenzetting met betere filtereigenschappen; bij materiaaltransport vanuit de ondergrond betreft dit het aanbrengen van een geokunststof of van een granulair filter; bij materiaaltransport vanuit de granulaire laag moet de sortering van de granulaire laag worden afgestemd op de openingen in de toplaag.

De maatregelen voor steenzettingen zijn ook mogelijk voor de meeste van de aanverwante bekledingstypen. Voor geschakelde steenzettingen geldt in de praktijk dat beheerders ze bij voorkeur vervangen door niet-geschakelde steenzettingen. Bij doorgroeistenen buiten de golfklapzone kan de sterkte worden verhoogd door verbetering van het grasbeheer. Noorse stenen hebben vaak cultuurhistorische waarde waardoor vervanging ongewenst is en andere versterkingsmaatregel moet worden getroffen. Een breuksteenoverlaging met score 'onvoldoende' kan worden verbeterd door bijstorten, eventueel met zwaardere breuksteen of een flauwer talud, maar ook door penetratie (patroon of 'vol en zat').

Voor verdere uitwerking van deze maatregelen zie het deel Ontwerp van dit *Technisch Rapport Steenzettingen*.

7.4 RAPPORTAGE

De beheerder rapporteert over de toetsing aan Gedeputeerde Staten. Deze rapportage bestaat uit een samenvatting met een resultaatstabel, een beschrijving van het dijkringgebied met een overzichtskaart, de toetsresultaten en het beheerdersoordeel, de ervaringen opgedaan met het toetsen en een beschrijving van het gevoerd beheer en een plan van aanpak voor voorziene verbeteringen. Zie Katern 3 en 13 van het VTV.

De kern van de waterstaatkundige beoordeling wordt gevormd door de beoordelingsstaat. Dit is een schematisch overzicht van de dijkring, opgedeeld in dijkvakken, waarin de veiligheidsscores (zowel rekenscore M als beheerdersoordeel B) voor alle relevante toetssporen worden weergegeven. Voor zover nodig worden de scores toegelicht in een bijlage bij de beoordelingsstaat.

In het algemeen zal de beheerder zich niet beperken tot de minimale rapportage aan Gedeputeerde Staten, maar zal hij werkwijze en resultaten ook willen vastleggen voor eigen gebruik en archivering.

De beoordelingsstaat zoals omschreven in de LTV volstaat meestal niet voor vastlegging van de toetsresultaten van bekledingen: de toetsscore per dijkvak is de slechtste score van de stroken die in dat vak voorkomen, en geeft dus geen informatie over de verticale verdeling van die scores. Een twee-dimensionale beoordelingsstaat, in de vorm van bijvoorbeeld een vlakkenkaart, geeft een veel beter beeld. Verwezen wordt naar de voorbeelden in sectie III.

SECTIE III Voorbeelden

8 STEENZETTING IN GETIJDEGEBIED

9 STEENZETTING OP EEN MEERDIJK

8 Steenzetting in getijdegebied

Voor dit voorbeeld is de toetsing omgeschreven naar het toetsproces uit sectie II.

Voor de steenzetting van de dijk van polder Zuidwatering worden voor de toetsing verschillende slagen gemaakt: een eerste toetsing in 1999, een geavanceerde toetsing van bepaalde vlakken in 2001 en een hertoetsing van alle vlakken op basis van nadere inventarisatie in 2001. Uiteindelijk wordt er gedetailleerd/geavanceerd getoetst met de rekenregels van Steentoets 3.20 (oudere regels dan in dit technisch rapport).

8.1 PROJECTOMSCHRIJVING

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

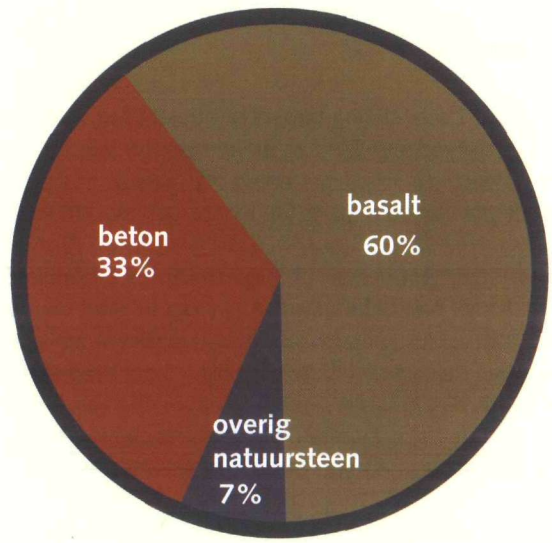
De huidige bekleding bestaat grotendeels uit basaltzuilen en betonblokken. Een enkel glooiïngsvlak is gepenetreerd met beton. Verder zijn een beperkt aantal basalttafels gedeeltelijk ingegoten met asfalt, vooral waar vroeger paalrijen aanwezig waren. Bij dijkpaal 719 en 721 liggen respectievelijk de westelijke Sloehavendam en de nol nabij Fort Rammekens. De nol wordt niet getoetst omdat bij uitvoering van werken de waterkering waarschijnlijk achter langs de nol zal worden versterkt. De westelijke havendam wordt apart hertoetst, maar dat wordt in dit voorbeeld niet behandeld.

In figuur 8.2 wordt een overzicht gegeven van de procentuele verdeling van de oppervlaktes van de aanwezige bekledingstypen van polder Zuidwatering (tussen dijkpaal 709 en 763).



Figuur 8.1
Overzicht projectgebied

Het traject bestaat voornamelijk uit beton- (hoofdzakelijk oostelijke deel) en basaltblokken (vanaf dijkpaal 728). Ongeveer 7% van het traject bestaat uit natuursteenvlakken van het type Doornikse steen (gekanteld), Granietblokken en Vilvoordse steen. Slechts een zeer beperkt gedeelte (ongeveer 1%) van het traject tussen dijkpaal 709 en 741 is gepenetreerd met asfalt of beton.



Figuur 8.2
Procentuele verdeling toplaagtypen

8.2 VOORBEREIDING

8.2.1 Gegevens verzamelen

De volgende stappen worden doorlopen:

- Niveau 1: inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens.
- Niveau 2: niet-destructieve inspectie op de dijk. Dit omvat het nauwkeurig in kaart brengen van de locaties van de steenzettingen, inspectie van de toplaag en het inmeten van profielen. Dit laatste gebeurt nadat een globale vakindeling is gemaakt. De geometrie wordt vastgelegd in een drie-dimensionaal vlakkenbestand.
- Niveau 3: openbreking van de bekleding. Per ingemeten profiel en per bekledingstype wordt de bekleding op enkele plekken opengebroken om de dikte en kwaliteit van de toplaag vast te stellen, de samenstelling en dikte van de granulaire laag te onderzoeken en de dikte van de onderliggende kleilaag te meten. Dit wordt beperkt tot bekledingen waarvan de eindscore niet bij voorbaat vaststaat.

Uiteindelijk worden voor de toetsing de gegevens verzameld die in tabel 8.1 zijn weergegeven.

Type gegevens / Constructie-onderdeel	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Lay-out dijk	Type bekleding Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling)	Type bekleding Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling)	
Toplaag	Type steenzetting Dichtheid (op basis van standaard-waarden) Open ruimte (op basis van standaardwaarden)	Type steenzetting Breedte steenzetting Oppervlakte van de gaten Waterdicht ingegoten? Goed inklemd? Dichtgeslibd? Ingewassen?	Dikte van de bekleding Dichtgeslibd?
Uitvullaag = bovenste filterlaag			Type Dikte Korrelgrootte D_{15} Dichtgeslibd?
Granulaire laag = tweede filterlaag			
Onderlaag			Opbouw Laagdikte klei
Ervaringsgegevens – gedrag van de dijk	Afschuiving geconstateerd? Materiaaltransport opgetreden?	Afschuiving geconstateerd? Materiaaltransport opgetreden?	Ruimte tussen toplaag en filter?

Tabel 8.1
Verzamelde gegevens

Veldinventarisatie

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

Ten behoeve van de geavanceerde toetsing wordt de glooiing op meerdere plaatsen opengebroken. Hierbij komt naar voren dat de karakteristieken van de basalttafel onder en boven GHW van elkaar verschillen. Zodoende worden de tafels in de toetsing gesplitst bij GHW (voor dit traject komt dit overeen met NAP + 2 m). In tabel 8.2 staan de gebruikte karakteristieken van de geavanceerde toetsing.

Basalttafels	Strook	Strook
Aspect	> GHW	< GHW
Toplaag dichtgeslibd	nee	ja
Filterlaag dichtgeslibd	nee	ja
Filterlaag dikte [cm[	25	15
Korreldiameter filterlaag D_{15} [mm]	40	10

Tabel 8.2
Karakteristieken geavanceerde toetsing

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

Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden worden afgegeven door RIKZ; de waarden van de parameters staan verderop in dit voorbeeld.

De randvoorwaarden worden voor bepaalde onderdelen gebaseerd op conservatieve aannamen:

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

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

8.2.2 Vaststellen vakindeling

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

8.3 TOETSING

De toetsing wordt beschreven aan de hand van de schema's uit hoofdstuk 4.

Volgens de hoofdschema's (figuur 4.1 en 4.2) worden 5 hoofdsporen onderscheiden: toplaaginstabiliteit onder golfaanval, toplaaginstabiliteit onder langsstroming, afschuiving, materiaaltransport vanuit ondergrond en materiaaltransport vanuit granulaire laag. Op welke sporen er getoetst moet worden hangt af van de locatie van een vlak. Voor de vlakken boven Toetspeil wordt, conform het hoofdschema van figuur 4.2, alleen de score op het beoordelingsspoor toplaaginstabiliteit berekend. Voor de vlakken onder Toetspeil (van figuur 4.1) wordt op de beoordelingssporen toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport getoetst. In de toetsing wordt geen rekening gehouden met reststerkte (erosie van de onderlagen), omdat op voorhand wordt ingeschat dat de bijdrage onvoldoende zal zijn.

Voor dit voorbeeld worden twee bekledingsvlakken nader uitgewerkt: vlak 1, met betonblokken boven GHW en vlak 2, met basaltzuilen onder GHW. In de buurt van vlak 1 wordt een vlak in de bermzone nog apart op toplaaginstabiliteit getoetst (bekledingsvlak 1a). Daarnaast worden de resultaten voor de gehele dijk globaal beschreven. De parameters van de drie bekledingsvlakkenstaan in tabel 8.3.

8.3.1 Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)

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

Stap 1 Gedrag

Voor de beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Als de score op het gedrag 'onvoldoende' is, dan is de eindscore 'onvoldoende'.

	Bekledingsvak 1 (talud boven GHW)	Bekledingsvlak 1a (berm)	Bekledingsvlak 2 (talud onder GHW)
Vlakcode/ Volgnummer	71901/87	71904/103	74932,1/153
Bekledingstype	betonblokken	Vilvoordse steen	basalt, gezet
Begrenzing	71,90 km tot 72,00 km	71,90 km tot 72,10 km	75,20 km tot 75,30 km
Hoogte	NAP + 4,3 m tot NAP + 5,4 m	NAP + 4,1 m tot NAP + 4,3 m	NAP – 0,11 m tot NAP + 2,0 m
Taludhelling (tan hoek)	1 : 3,5 (0,284)	1:36 (1 : 0,028)	1 : 3,6 (0,280)
Toplaag			
Dikte (D)	0,20 m	0,225 m	0,280 m
Dichtheid	2300 kg/m^2	2500 kg/m^2	2900 kg/m^2
Open oppervlakte			10%
Spleet	1 mm	10 mm	
ξ_{0p}	1,859	–	1,787
Hs/ΔD	9,49	7,878	4,061
Granulaire laag			
Type	geen	puin	steenslag
Dikte (b_f)	–	0,10 m	0,150 m
D_{f15}	–	40 mm	10 mm
Porositeit (n)	–	0,40 (standaardwaarde)	0,35 (standaardwaarde)
Vlijlaag	afwezig	afwezig	afwezig
Klei			
Dikte (b_k)	0,8 m	0,3 m	0,3 m
Randvoorwaarden			
Toetspeil	NAP + 5,50 m	NAP + 5,50 m	NAP + 5,50 m
Maatgevende waterstand	NAP + 5,50 m	NAP + 5,50 m	NAP + 3,602 m
Golfhoogte (H_s)	2,45 m	2,45 m	2,080 m
Golfperiode (T_p)	7,50 s	7,50 s	7,36 s

Tabel 8.3 Parameters van de drie bekledingsvakken

Bekledingsvlakken 1/1a en 2
Vanuit ervaring zijn geen specifieke gegevens bekend geworden over het oplichten van toplaagelementen. Vanuit deze gegevens wordt geconcludeerd dat er geen reden is om op basis van het gedrag 'onvoldoende' te geven. De toetsing gaat verder met stap 2.1.

Alle bekledingsvlakken
Er is geen reden om op basis van gedrag 'onvoldoende' te geven.

Stap 2 Blackbox-grafieken (eenvoudige toetsing

2.1 berekeningen

De rekenmethode wordt gekenmerkt door een empirische relatie tussen de sterkteparameter $H_s/\Delta D$ en de belastingparameter ξ_{0p}. Of een bekledingsvlak voldoet of niet kan worden bepaald met de "blackbox"-grafieken.

Bekledingsvlak 1
Dit bekledingsvlak ligt in zone A2, buitentalud onder Toetspeil met berminvloed. De

berm (vlakcode 71904, volgnr. 103) ligt tussen NAP+2,28 m en NAP+4,3 m en daardoor (gedeeltelijk) hoger dan Toetspeil – H_s (=NAP+3,05 m); er moet dus rekening worden gehouden met berminvloed. De steenzetting wordt getoetst:

1 alsof deze op de berm ligt;
2 alsof de berm niet aanwezig is.

De gunstigste van de twee scores geldt als eindscore.

ad 1)

De volgende stappen worden doorlopen om de bermfactor f_{berm} en de rekenwaarde van de taludhelling α_{fict} te bepalen:

1 Bepaling range van waterstanden. f_{berm} is maximaal (ongunstig) bij waterstanden van ca. H_s tot $1{,}5H_s$ boven bermniveau (NAP+2,28 m). Daarom wordt hier een waterstand h = NAP+6 m aangehouden.
2 Uit de hydraulische randvoorwaarden van RIKZ volgt dan: H_s = 2,5 m; T_p = 7,5 s.
3 α_{fict} = 0,284. De rekenwaarde van de taludhelling is het gewogen gemiddelde van de taludhelling boven en onder de berm in de zone 1,5 H_s onder de aangehouden waterstand h. Omdat de ondergrens van deze zone bijna samenvalt met de buitenknik van de berm (NAP+2,28 m), kan de taludhelling boven de berm worden aangehouden.
4 f_{berm} = 1,25. De bermfactor wordt bepaald (zie figuur C.3) door de bermbreedte (>> 10m), de taludhelling onder de berm (1:3,2), H_s/L_{0p} (0,028) en d_b/H_s (1,48; d_b = 6 – 2,28=3,7)

Toetsing alsof de berm aanwezig gebeurt dus bij hetzelfde talud als wanneer de berm niet aanwezig is en met een gereduceerde toplaagdikte (gedeeld door de factor f_{berm}); en is in dit geval derhalve ongunstiger dan toetsing alsof de berm niet aanwezig is. Daarom geldt hier de score van de toetsing alsof de berm niet aanwezig is als eindscore.
Dit bekledingsvlak valt onder type 2; steenzetting op klei. Met de gegevens van de belastingsparameter (ξ_{0p} = 1,701) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$ = 7,878) wordt figuur 4.7 afgelezen en blijkt dat het resultaat 'onvoldoende' is. De toetsing van dit vlak op toplaaginstabiliteit is daarmee voltooid.

Bekledingsvlak 1a

Dit bekledingsvlak ligt in zone Berm en wordt ook behandeld als berm omdat het talud flauwer is dan 1:9 en breder is dan $2xH_s$ (type 1 (brede berm)).
Dezelfde stappen worden doorlopen als in bekledingsvlak 1a om de bermfactor f_{berm} (1,25) en de rekenwaarde van de taludhelling α_{fict} (0,284) te bepalen.
Dit bekledingsvlak valt onder type 3c; steenzetting op granulaire laag – ongunstige constructie. Met de gegevens van de belastingsparameter (ξ_{0p} = 1,859) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$ = 9,49) wordt figuur 4.10 afgelezen en blijkt dat het resultaat 'onvoldoende' is. De toetsing van dit vlak op toplaaginstabiliteit is daarmee voltooid.

Bekledingsvlak 2

Dit bekledingsvlak valt onder type 3b; steenzetting op granulaire laag (steenslag) met gematigd dikke granulaire laag maar wel relatief open toplaag. Met de gegevens van de belastingsparameter (ξ_{0p} = 1,787) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$ = 4,061) wordt figuur 4.9 gelezen en blijkt dat het resultaat 'twijfelachtig' is.

Alle bekledingsvlakken

30% van de vlakken is type 2 (steenzetting op klei). Deze vlakken worden getoetst m.b.v. figuur 4.7. 49% van de vlakken is type 3b (steenzetting op granulaire laag, normale constructie). Deze vlakken worden beoordeeld m.b.v. figuur 4.9. 15% van de vlakken is type 3c (steenzetting op granulaire laag, ongunstige constructie). Deze vlakken worden beoordeeld met figuur 4.10.

De resultaten van de berekeningen zijn als volgt:
57% (38 vlakken) scoort 'twijfelachtig';
43% (29 vlakken) scoort 'onvoldoende'.

Alle type 2 steenzettingen scoren onvoldoende
Voor de 57% die de score 'twijfelachtig' heeft is verdere toetsing noodzakelijk, stap 2.2.

2.2 type steenzettingen
Het verdere verloop van de toetsing is afhankelijk van het type steenzetting. Bij stap 2.1 is reeds aangeven welke type steenzetting op het vlak aanwezig is.

Bekledingsvlak 2
In stap 2.1 is al bepaald dat het gaat om steenzetting type 3b, steenzetting op granulaire laag met een normale constructie. Daarom wordt de toetsing voortgezet met de gedetailleerde methode; stap 3.

Alle bekledingsvlakken
De 57% (38 vlakken) die verder getoetst worden, zijn alle type 3 en voor het merendeel type 3b steenzettingen. De gedetailleerde methode (stap 3) is voor deze bekledingsvlakken noodzakelijk.

Stap 3 Analytische methode (gedetailleerde toetsing)
Alleen voor steenzettingen van type 3 kan de toetsing worden uitgevoerd met de analytische methode (het computerprogramma ANAMOS). Hierbij wordt er rekening gehouden met de doorlatendheid van de toplaag en van de granulaire laag.

Bekledingsvlak 2
Het resultaat van de berekeningen met ANAMOS is dat het bekledingsvlak 'stabiel' is. Hiermee wordt de toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval afgesloten met een 'goed'.

Alle bekledingsvlakken
38 bekledingsvlakken worden getoetst volgens deze methode. De rekenmethode volgens ANAMOS wordt verwerkt in Steentoets. 21 vlakken worden na een gedetailleerde toetsing 'goed' bevonden. De overige 17 vlakken krijgen de tussenscore 'twijfelachtig', waardoor geavanceerde toetsing (stap 4) nodig is.

Stap 4 Geavanceerde toetsing
Afhankelijk van het bekledingstype wordt deze toetsing uitgevoerd bij bekledingsvlakken met een 'twijfelachtig' tussenscore na eenvoudige toetsing (stap 2.2) of na gedetailleerde toetsing (stap 3).

Alle bekledingsvlakken
17 vlakken van type 3b/c (bepaald via stap 2.2) hebben score twijfelachtig en zouden geavanceerd getoetst moeten worden. 11 vlakken van type 2 zouden geavanceerd getoetst moeten worden omdat ze in de bermzone boven Toetspeil liggen. Deze geavanceerde toetsing valt buiten het kader van dit voorbeeld.

De nader uitgewerkte bekledingsvlakken 1/1a en 2, worden 'onvoldoende' respectievelijk 'goed' gekeurd voor toplaaginstabiliteit onder golfaanval. Het algemene beeld is dat de scores, ook na een gedetailleerde toetsing, redelijk gelijkmatig verdeeld zijn:
- 31% van de vlakken (21 vlakken) scoort 'goed';

- 43% van de vlakken (28 vlakken) scoort '(nog) geen oordeel (in Steentoets: twijfelachtig of geavanceerd');
- 26% van de vlakken (18 vlakken) scoort 'onvoldoende'.

8.3.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS)

De toetsing op toplaaginstabiliteit onder langsstroming wordt alleen uitgevoerd voor de vlakken die zich onder Toetspeil bevinden. Deze toetsing is voornamelijk van belang bij dijken langs rivieren. Er zijn voor dit bekledingsvlak geen gegevens over langsstroming bekend. Vanwege de ligging aan de Westerschelde, een estuarium met eb- en vloedgeulen, wordt in dit bekledingsvlak daarom voor de stroomsnelheid een bovengrens van 2 m/s aangehouden.

Stap 1 Gedrag

Voor de beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Als de score van een vlak op het gedrag 'onvoldoende' is, dan is de eindscore 'onvoldoende'.

Bekledingsvlakken 1 en 2
Net als bij toplaaginstabiliteit onder golfaanval zijn er vanuit het verleden geen negatieve ervaringen over dit dijkvak. Er is geen basis voor een 'onvoldoende', waardoor er verder wordt gegaan met stap 2.1.
Alle bekledingsvlakken
Er is geen reden om op basis van gedrag 'onvoldoende' te geven.

Stap 2 Eenvoudige toetsing op langsstroming

Met een eenvoudige toetsregel kan de score op langstroming bepaald worden.

Bekledingsvlak 1
Het gaat hierbij om een bekledingsvlak gelegen aan de Sloehaven. De stroomsnelheid is hier te verwaarlozen. De score is 'goed'.

Bekledingsvlak 2
Het gaat hierbij om een bekledingsvlak gelegen aan de Westerschelde. Bij een stroomsnelheid van maximaal 2 m/s wordt met $\Delta D > 0{,}44 \cdot u^2/g$ een score 'goed' bepaald ($\Delta D = 1{,}9 \cdot 0{,}28 = 0{,}532$; $0{,}44 \cdot u^2/g = 0{,}44 \cdot 0{,}4 = 0{,}176$).

Alle bekledingsvlakken
Bijna alle bekledingsvlakken krijgen de score 'goed'. Er is één vlak (75801, volgnr. 234) dat de score 'twijfelachtig' krijgt. Dit vlak scoort ook al 'onvoldoende' op golfaanval.

Stap 3 Geavanceerde toetsing

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 2 is geavanceerde toetsing noodzakelijk.

Alle bekledingsvlakken
Deze stap is alleen relevant voor vlak 75801, maar valt buiten het kader van dit voorbeeld.

8.3.3 Afschuiving (ZAF)

De toetsing op afschuiving wordt alleen uitgevoerd voor de vlakken die zich onder Toetspeil bevinden.

Stap 1 Eenvoudige toetsing

De eerste stap in de toetsing is het vaststellen of op basis van eenvoudige kenmerken direct kan worden geconcludeerd dat er geen gevaar voor afschuiving is. Bovendien wordt de toepasbaarheid van de gedetailleerde methode van stap 2 gecontroleerd. Er wordt getoetst met behulp van vier voorwaarden over de dijkopbouw en dit kan tot een eindscore 'goed', stap 2 (en 3) of direct naar stap 3 leiden.

1.1 bekleding ligt op kleikern

Er is geen gevaar voor afschuiving als de steenzetting (inclusief geotextiel en/of granulaire laag) direct op de kleikern van de dijk is geplaatst.

Bekledingsvlakken 1 en 2

Er zijn geen gegevens voorhanden waaruit kan worden afgeleid dat de steenbekleding op een kleikern ligt. De dijkversterkingen zijn met zand uitgevoerd zodat het zeer aannemelijk is dat de steenbekleding niet direct op de kleikern ligt. De score is 'twijfelachtig'. de toetsing wordt voortgezet met stap 1.2.

Alle bekledingsvlakken

De score 'goed' kan voor geen enkel bekledingsvlak worden gegeven op basis van de opbouw van de dijk.

1.2 bekleding ligt op zandscheg

Deze stap betreft een van de toepasbaarheidsvoorwaarden voor de gedetailleerde methode in stap 2. Wanneer het profiel een zandscheg bevat, kan er niet gedetailleerd worden getoetst. Een geavanceerde toetsing (stap 4) is dan noodzakelijk. Bevat het profiel geen zandscheg, dan kan de toetsing worden voorgezet met stap 1.3

Bekledingsvlakken 1 en 2

Er is geen aanleiding om te veronderstellen dat er in het dijklichaam een zandscheg aanwezig zou zijn. De toetsing wordt voortgezet met stap 1.3.

Alle bekledingsvlakken

Er is geen aanleiding om te veronderstellen dat er in het dijklichaam van de Zuidwatering een zandscheg aanwezig zou zijn; de toetsing wordt voorgezet met 1.3.

1.3 golfhoogte kleiner dan kleilaagdikte

Bij veel steenzettingen ligt de bekleding op een kleilaag op de zandkern. Als de significante golfhoogte (H_s) kleiner is dan de kleilaagdikte (b_k) is de eindscore 'goed'. Bij een andere eindscore wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4. Deze regel is overigens vooral relevant voor rivierdijken.

Bekledingsvlakken 1 en 2

De significante golfhoogte H_s is groter dan de kleilaagdikte waardoor de toetsing wordt voortgezet met stap 1.4.

Alle bekledingsvlakken

De significante golfhoogte H_s is voor alle vlakken groter dan de kleilaagdikte. Er wordt verder getoetst met stap 1.4.

1.4 talud steiler dan 1:2,7
Wanneer het talud steiler is dan 1:2,7 kan er niet gedetailleerd worden getoetst en is een geavanceerde toetsing (stap 4) noodzakelijk.

Bekledingsvlakken 1 en 2
Voor beide bekledingsvlakken is het talud flauwer dan de toepasbaarheids-voorwaarde. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.

Alle bekledingsvlakken
Alle bekledingsvlakken zijn flauwer dan 1:2,7 en wordenin stap 2 gedetailleerd getoetst.

Stap 2 Toetsing met rekenregel (gedetailleerde toetsing)
Vlakken met een taludhelling flauwer dan 1:2,7 worden met de rekenregel getoetst.
In de rekenregel wordt gebruik gemaakt van de volgende parameters: de totale laagdikte ($\Delta D + b_f + b_k$), de golfhoogte (H_s), de piekperiode (T_p), de taludhelling (α) en de korrelgrootte van het zand (D_{15}). Van de rekenregel zijn in grafieken voor verschillende waarden van golfsteilheid en taludhelling relaties tussen golfhoogte en en totale laagdikte weergeven. (figuur 4.20). Deze relaties scheiden de scores 'goed' en 'twijfelachtig'.

Deze grafieken zijn maar voor enkele gevallen bruikbaar, maar als de taludhelling overeenkomt, kan er voor de golfsteilheid geïnterpoleerd worden tussen de verschillende grafieken. Voor de golfsteilheid (H_s/L_{0p}), moet eerst de L_{0p} bepaald worden: ($L_{0p} = gT_p^2/2\pi$).

Bekledingsvlak 1
De golfsteilheid is 0,028 (bepaald door H_s (2,45) / L_{0p} (9,81 • (7,50)^2 / 2π = 87,7)) en komt redelijk overeen met de golfsteilheid 0,03, die voor 2 grafieken wordt aangehouden. Met de taludhelling van 0,284 kan tussen de 2 grafieken waarvoor een taludhelling van 0,33 respectievelijk 0,25 is aangehouden, geïnterpoleerd worden.
De grafieken hebben als invoer de totale laagdikte (1,3 • 0,25 + 0 + 0,8 = 1,125 m) en de golfhoogte (2,45 m). De grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig' wordt bepaald door de korrelgrootte van het zand (D_{15}). Deze is onbekend; er wordt uitgegaan van de ongunstigste situatie D_{15} = 0,10 mm.
In de grafiek met helling van 0,33 is de uitkomst 'twijfelachtig'. In de grafiek met helling van 0,25 is de uitkomst 'goed' of 'twijfelachtig', afhankelijk van de korrelgrootte van het zand (D_{15}). Deze is onbekend. Bij interpolatie is de uitkomst waarschijnlijk 'twijfelachtig'. Met de rekenregel wordt exact bepaald dat een D_{15} van zand > 0,26 mm de uitkomst 'goed' oplevert. Het is niet waarschijnlijk dat dit hier het geval is; de uitkomst is dus definitief 'twijfelachtig'.

Bekledingsvlak 2
De golfsteilheid is 0,0246 (bepaald door H_s (2,080) / L_{0p} (9,81 • (7,36)^2 / 2π = 84,6)).
De totale laagdikte is 0,982 m (1,9 • 0,28 + 0,15 + 0,3). Met de rekenregel wordt exact bepaald dat een D_{15} van zand > 0,27 mm de uitkomst 'goed' oplevert. Het is niet waarschijnlijk dat dit hier het geval is; de uitkomst is dus definitief 'twijfelachtig'.

Alle bekledingsvlakken
98% van de gedetailleerd getoetste vlakken (54 vlakken) scoort 'twijfelachtig'; deze vlakken moeten geavanceerd getoetst worden.
2% van de gedetailleerd getoetste vlakken (1 vlak) scoort 'goed'.

Stap 3 Geavanceerde toetsing

Als uit gedetailleerde toetsing geen eindscore 'goed' volgt, moet de bekleding geavanceerd worden getoetst, bijvoorbeeld met een grondmechanisch eindige-elementenprogramma. Dit wordt nog niet gedaan en valt buiten het kader van dit voorbeeld. Voorlopig is de score 'geen oordeel'.

Alle bekledingsvlakken
Bijna alle vlakken zouden geavanceerd getoetst moeten worden. Aangezien het niet binnen het kader van het project viel om geavanceerd te toetsen, is de tussenscore 'twijfelachtig' omgezet in de eindscore 'geen oordeel'.

De nader uitgewerkte bekledingsvlakken krijgen op afschuiving de score 'twijfelachtig'. Het resultaat van alle bekledingsvlakken op afschuiving is als volgt:
- 13 vlakken (19%) behoeven niet te worden getoetst omdat ze boven Toetspeil liggen.
- 54 vlakken (79%) krijgen score 'twijfelachtig' en als eindscore 'geen oordeel'.
- 1 vlak (1,5%) krijgt score 'goed'.

8.3.4 Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO)

De toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond wordt alleen uitgevoerd voor de vlakken onder Toetspeil.

Stap 1 Gedrag

Voor een beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Als de score van een vlak op het gedrag 'onvoldoende' is, dan is de eindscore 'onvoldoende'. Bij het resultaat 'twijfelachtig' wordt doorgegaan met stap 2.1.

Bekledingsvlak 1
Vanuit de ervaringen uit het verleden zijn er geen holtes of verzakkingen bekend. Vanwege het uitblijven van regelmatige belastingen wordt de score op het gedrag 'twijfelachtig' (vlak ligt boven GHW = NAP + 2 m). De toetsing wordt voortgezet met stap 2.1.

Bekledingsvlak 2
Vanuit de ervaringen uit het verleden zijn er geen holtes of verzakkingen bekend. Omdat het vlak regelmatig belasting heeft ondergaan wordt de score op het gedrag 'goed' (vlak ligt onder GHW=NAP + 2 m).

Alle bekledingsvlakken
Er worden aan de dijk geen noemenswaardige zettingen van steenzettingen geconstateerd, dus er is geen aanleiding om de score 'onvoldoende' toe te kennen. Vanuit het oogpunt van de belastinggeschiedenis wordt de score op het gedrag voor de vlakken boven GHW 'twijfelachtig' en de vlakken onder GHW 'goed'. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.1.

Stap 2 Kwalitatieve toetsing (eenvoudige toetsing)

2.1 vlijlaag (eenvoudige toetsing)
Bij een aanwezigheid van een vlijlaag zijn drie voorwaarden bepalend voor de score 'goed'. De ondergrond moet bestaan uit klei, de vlijlaag moet uit minimaal twee lagen baksteen bestaan en de vlijlaag moet in goede staat verkeren.

Bekledingsvlakken 1 en 2
In deze bekledingsvlakken is geen vlijlaag aanwezig. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.2.

Alle bekledingsvlakken
In een aantal gevallen is een vlijlaag in combinatie met filterlaag aanwezig. Voor die gevallen is de score 'goed'. Voor de andere gevallen wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2.

2.2 filter (granulair of geokunststof)
Voor deze toetsregel gaat het om de aanwezigheid van filtermateriaal. Bij afwezigheid van filtermateriaal wordt de toetsing voortgezet met stap 2.3. Is er wel filtermateriaal aanwezig, dan wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Bekledingsvlak 1
Er is geen filtermateriaal aanwezig, dus de toetsing wordt voortgezet met stap 2.3.

Bekledingsvlak 2
Er is steenslag aanwezig, dus de toetsing wordt voortgezet met stap 3.

Alle bekledingsvlakken
Er zijn bekledingsvlakken zonder en met filtermateriaal. De vlakken met granulair materiaal worden nader getoetst in stap 3.

2.3 erosiebestendigheid van de klei (eenvoudige toetsing)
Bij het voorkomen van een toplaag direct op het kleilichaam zijn de kwalitatieve kenmerken van de klei bepalend voor de erosiebestendigheid. 'Matig erosiebestendige' of 'weinig erosiebestendige' klei krijgt de score onvoldoende. Bij 'goede/erosiebestendige' klei wordt voortgegaan met stap 5.

Bekledingsvlak 1
Aangenomen wordt dat de klei weinig erosiebestendig is (c3). De score is dan 'onvoldoende'.

Alle bekledingsvlakken zonder filtermateriaal
Aangenomen wordt dat de klei in het hele vlak matig of weinig erosiebestendig is. Daarom is de score 'onvoldoende'.

Stap 3 Geometrische-dichtheid (eenvoudige toetsing)
De vlakken die nader moeten worden getoetst bestaan uit een toplaag op een granulaire laag (op een geokunststof) op klei. Om te kunnen toetsen wordt er gekeken naar de grenswaarden voor de verhouding tussen de korrelgrootte van de bovenliggende laag en de onderliggende laag. Hierbij hangt de toetsing af van de laagopbouw tussen de toplaag en de ondergrond.

Bekledingsvlak 2
In dit bekledingsvlak ligt de toplaag op een granulaire laag op de ondergrond (klei) en is de granulaire laag van type 2 (steenslag = smal gegradeerd materiaal). Bij een D_{f15} = 10 mm volgt uit figuur 4.22 een score onvoldoende of twijfelachtig, afhankelijk van de D_{50} van klei. Uitgaande van een score 'twijfelachtig' volgt stap 4.

Alle bekledingsvlakken (boven GHW)
Toplaag op granulaire laag op ondergrond:
- type 1 (breed gegradeerd): geen
- type 2 (smal gegradeerd): 5 vlakken met steenslag

Het toetsresultaat wordt bepaald door de verhouding tussen de fijne fractie van het filtermateriaal (D_{f15}) en de gemiddelde korrelgrootte van de ondergrond (D_{50}). Deze laatste is onbekend. Bekend is dat deze ondergrond uit klei bestaat, waardoor naar verwachting de score niet 'goed' zal zijn. De toetsing wordt voortgezet met stap 4.

Toplaag op granulaire laag op geokunstof op ondergrond:
- type 1 (op klei): 5 vlakken
- type 2 (op zand): geen

De openingsgrootte O_{90} van het geokunstof is niet bekend, dus geldt voor dit bekledingsvlak een score 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 4.

Stap 4 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

De toetsregel in deze stap bestaat uit een vergelijking tussen het optredende en het kritieke verhang langs het grensvlak. Uit de toetsing op hydraulisch-dichtheid volgt een score 'goed' of 'onvoldoende'. Toetsing op hydraulisch-dichtheid is niet mogelijk als het filter alleen uit geokunststof bestaat.

Bekledingsvlak 2
De granulaire laag is groter dan de helft van de toplaagdikte en kan derhalve worden doorgerekend. Dit wordt gedaan m.b.v. het computerprogramma ANAMOS. Hieruit volgt de score 'goed'.

Alle bekledingsvlakken
Voor 5 vlakken met alleen een granulaire laag wordt het kritieke verhang en het optredende verhang doorgerekend met ANAMOS waaruit voor alle 5 de score 'goed' volgt. Vier van de 5 vlakken met granulaire laag op geokunststof op klei worden doorgerekend met het kritieke verhang $i_{cr} = 0{,}012/n^2 \cdot D_{f15}$ met n = 0,35 (voor matige of slechte klei) en het optredende verhang volgens ANAMOS. Eén van de 5 vlakken kan vanwege een te dunne granulaire laag niet worden doorgerekend en krijgt daarom de score 'twijfelachtig'; hiervoor is geavanceerde toetsing nodig (stap 5), maar dat valt buiten het kader van dit voorbeeld.

De nader uitgewerkte bekledingsvlakken 1 en 2 krijgen een score 'onvoldoende' respectievelijk 'goed' voor materiaaltransport vanuit de ondergrond. Het resultaat van alle bekledingsvlakken voor materiaaltransport vanuit de ondergrond is als volgt:
- 9 vlakken met toplaag op klei boven GHW en onder toetspeil krijgen de score 'onvoldoende';
- 1 vlak krijgt de score 'twijfelachtig';
- de overige vlakken krijgen de score 'goed'.

8.3.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG)

Deze toetsing wordt alleen uitgevoerd voor de vlakken die zich onder Toetspeil bevinden. Dit spoor is geen onderdeel van LTV99 en Steentoets, maar is met een aantal aannames ten behoeve van dit voorbeeld alsnog uitgewerkt.

Stap 1 Gedrag

Ook voor dit spoor bestaat de eerste stap uit een beoordeling van het gedrag. Als de score van een vlak op het gedrag 'onvoldoende' is, dan is de eindscore 'onvoldoende'. Is de score op het gedrag 'goed', dan heeft dit tot gevolg dat de eindscore op het hoofdspoor materiaaltransport 'goed' is.

Bekledingsvlak 1
Er is geen granulaire laag aanwezig, zodat dit spoor niet relevant is voor dit bekledingsvlak.

Bekledingsvlak 2
De score op gedrag is 'goed' (zie ZMO).

Alle bekledingsvlakken
Er worden op de dijk geen noemenswaardige zettingen van de bekledingen geconstateerd, dus er is geen aanleiding om de score 'onvoldoende' toe te kennen. Vanuit het oogpunt van de belastinggeschiedenis wordt de score op het gedrag voor de vlakken boven GHW 'twijfelachtig' en de vlakken onder GHW 'goed'. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.

Stap 2 Geometrisch-dichtheid (eenvoudige toetsing)

Een eenvoudige toetsregel bepaalt met D_{50} en de spleetbreedte of gatdiameter of er materiaaltransport plaatsvindt. Zo niet, dan is de score 'goed', anders is de score 'twijfelachtig'.

Alle bekledingsvlakken
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en wordt in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Aangenomen wordt dat niet aan de eisen van deze stap wordt voldaan. Een inhoudelijk voorbeeld van de toetsregel staat overigens in hoofdstuk 9. De tussenscore is 'twijfelachtig' voor alle vlakken boven GHW (en onder Toetspeil). Deze vlakken dienen in stap 3 gedetailleerd getoetst te worden.

Stap 3 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

Stap 3 bestaat uit het bepalen van de erosiediepte in de voegvulling tussen de openingen van de toplaag met een empirisch afgeleide formule. Als de erosiediepte kleiner is dan de dikte van de toplaag, is het transport van materiaal uit de granulaire laag niet mogelijk. De score is dan 'goed'.

Alle bekledingsvlakken
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en wordt in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Aangenomen wordt dat aan de eisen van deze stap wordt voldaan. Ook van deze toetsregel staat een inhoudelijk voorbeeld in hoofdstuk 9. De score is 'goed' voor alle vlakken boven GHW en onder Toetspeil.

Stap 4 Geavanceerde toetsing

Bij een score 'twijfelachtig'in stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken.

Alle bekledingsvlakken
Niet van toepassing op alle bekledingsvlakken.

Aangezien deze toetsingsregel nog niet wordt toegepast in de LTV99, worden er door deze toetsregel geen bekledingsvlakken afgekeurd.

8.3.6 Resultaten

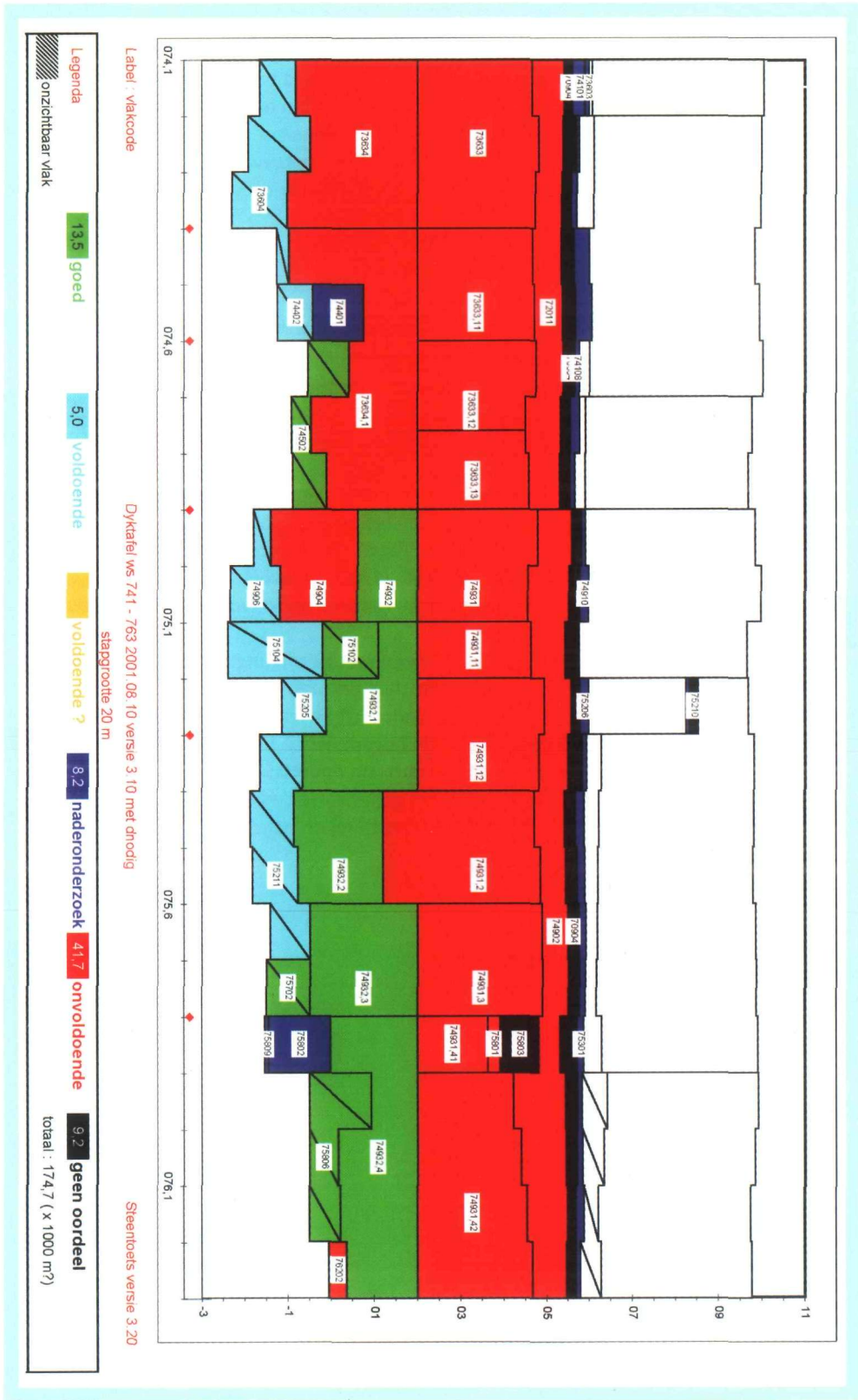
De toetsresultaten staan in figuur 8.3 op de volgende pagina. Deze figuur dekt slechts een deel van het projectgebied en is alleen bedoeld als voorbeeld hoe de toetsscores kunnen worden gepresenteerd. Het betreft de gesommeerde resultaten. De slechtste score op de drie toetssporen toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport geldt als eindscore. De figuur geeft de toetsresultaten van de in werkelijkheid uitgevoerde toetsing, op basis van LTV99, en komt niet geheel overeen met de resultaten in dit voorbeeld.

8.4 OMGAAN MET DE RESULTATEN

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

Een deel van de vlakken heeft een score 'geen oordeel', veroorzaakt door de toetsing op toplaaginstabiliteit en afschuiving. De volgende stap zou normaal gesproken bestaan uit geavanceerde toetsing, waaruit een eindscore 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' volgt. Deze geavanceerde toetsing wordt in werkelijkheid niet uitgevoerd. Een groot deel van de getoetste steenzetting heeft dus een score 'geen oordeel' en 'onvoldoende'. Hierdoor zijn maatregelen nodig.
Binnen de specifieke situatie en rekening houdend met de uitgangspunten wordt voor het dijkvak Zuidwatering voor de volgende constructies gekozen:

- tussen dp 719 en dp 730 betonzuilen op onder- en boventafel;
- tussen dp 730 en dp 759 betonzuilen in de boventafel en handhaven van de bestaande constructie in de ondertafel, waarbij de ondertafel tussen dp 736 en dp 745 en tussen 749 en 751 wordt overlaagd met gepenetreerde breuksteen;
- tussen dp 759 en dp 763 ecozuilen in de boventafel en handhaven van de bestaande constructie in de ondertafel.



Figuur 8.3
Toetsresultaten uitgesplitst per dijkvak

9 Steenzetting op een meerdijk

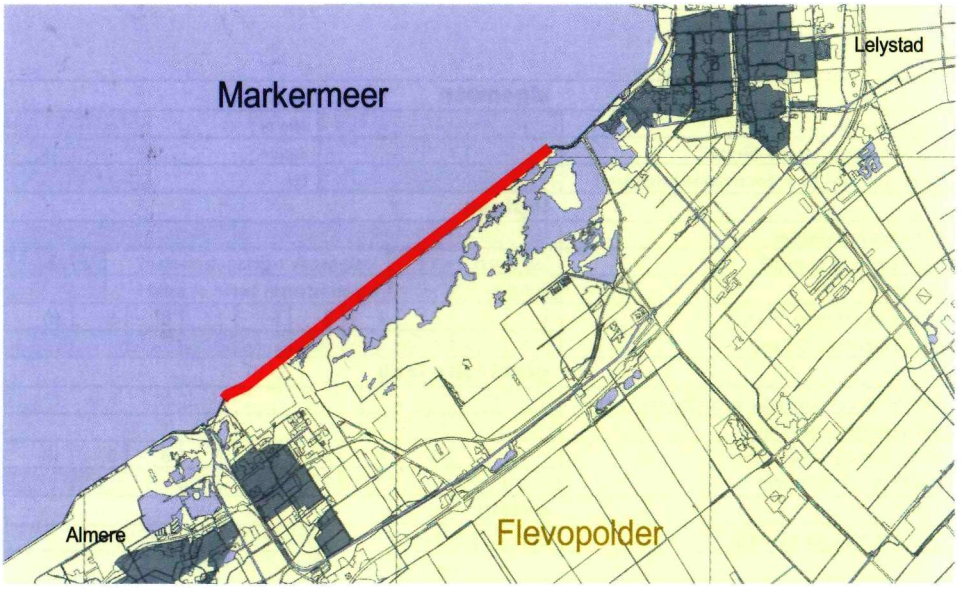
Voor dit voorbeeld is de toetsing omgeschreven naar het toetsproces uit sectie II.

In dit voorbeeld wordt de toetsing van het dijkvak Oostvaardersdijk-Noord beschreven. Oorspronkelijk zou deze dijk slechts aan één zijde waterkerend zijn, omdat aan het binnentalud van de dijk de Markerwaard gepland was en aan het buitentalud een kanaal, het Oostvaardersdiep. Het ontwerp is op deze ligging gebaseerd. Het oorspronkelijk als binnentalud bedoelde talud fungeert nu echter als waterkerende zijde. Het talud is aan deze kant lokaal zeer steil (variërend van 1:1,8 tot 1:25) en is over bijna de gehele lengte bekleed met steenzettingen. Een klein deel bestaat uit gras en asfalt; daar wordt in dit voorbeeld niet op ingegaan.

9.1 PROJECTOMSCHRIJVING

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

Om deze dijk te verhogen wordt een aantal alternatieven uitgewerkt. Om tot een goede afweging van de alternatieven te komen, is het essentieel te bepalen of de huidige steenzettingen gehandhaafd kunnen worden. Daarom worden de steenzettingen getoetst aan de op dat moment geldende leidraad (LTV99). Het gedeelte uit die LTV dat de steenzetting behandelt, is grotendeels in lijn met de toetsprocedure uit dit *Technisch Rapport Steenzettingen*. De toetsing van de steenzettingen wordt eerst op een eenvoudig niveau en daarna waar noodzakelijk op een gedetailleerd niveau uitgevoerd.



Figuur 9.1
Overzicht projectgebied

De kenmerkende parameters van de dijk zijn:
- Lengte: ca. 16 km.
- Kruinhoogte: NAP + 2,6 m tot NAP + 3,1 m.
- Buitentalud: 1:1,8 tot 1:25, bijna volledig bekleed met steenzettingen bestaande uit basaltzuilen, betonzuilen (type basalton), zeshoekige betonblokken, klinkers en Belgische bloksteen. Onder alle steenzettingen, behalve de betonzuilen en de klinkers, is een vlijlaag aanwezig. Meestal is onder de steenzetting een uitvullaag aanwezig.
- Opbouw van de dijk: zanddijk tussen keileemkades afgewerkt met een keileemlaag.

9.2 VOORBEREIDING

De voorbereiding van de toetsing bestaat conform het proces in sectie II uit twee delen:
- gegevens verzamelen (9.2.1), en
- vaststellen vakindeling (9.2.2).

9.2.1 Gegevens verzamelen

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

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

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

Figuur 9.2
Voorbeeld van een gegevensinwinformulier voor niveau 3

Type gegevens	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Constructie-onderdeel			
Lay-out dijk	Type bekleding Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling)	Type bekleding Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling	
Toplaag	Type steenzetting Dichtheid (op basis van standaardwaarden) Open ruimte (op basis van standaardwaarden)	Type steenzetting Breedte steenzetting Oppervlakte van de gaten Waterdicht ingegoten? Mate van inklemming Eventuele aanwezigheid van slib Eventuele aanwezigheid van inwasmateriaal	Dikte van de bekleding Eventuele aanwezigheid van slib
Uitvullaag			Type Dikte Korrelgrootte D_{15}
Granulaire laag	Algemene indicatie van verloop laagdikte (mondelinge info) Porositeit (een standaardwaarde)		Opbouw Dikte D_{15}-D_{50} Eventuele aanwezigheid van slib
Onderlaag			Opbouw Laagdikte keileem
Ervaringsgegevens – gedrag van de dijk	Afschuiving geconstateerd? Materiaaltransport opgetreden?	Afschuiving geconstateerd? Materiaaltransport opgetreden?	Ruimte tussen toplaag en filter?

Tabel 9.1
Verzamelde gegevens

Niveau 2 niet-destructieve inspectie op de dijk. Dit omvat het nauwkeurig in kaart brengen van de locaties van de steenzettingen, inspectie van de toplaag en het inmeten van profielen, nadat eerst een globale vakindeling is gemaakt.

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

Uiteindelijk zijn voor de toetsing de gegevens verzameld die in tabel 9.1 staan vermeld.

Het verzamelen van sommige gegevens wordt op meerdere niveaus dubbel vermeld. Dit speelt vooral op de niveaus 1 en 2. Veel gegevens die op niveau 2 verzameld worden kunnen namelijk voor een ander voorbeeld bij een andere beheerder redelijkerwijs vastgelegd zijn in documenten. Figuur 9.2 is een voorbeeld van een inwinformulier voor gegevensverzameling van niveau 3, waarbij de bekleding wordt opengebroken.

Een belangrijk onderdeel van de toetsing zijn de hydraulische randvoorwaarden waaraan de dijkvakken getoetst moeten worden. Per dijkvak zijn deze randvoorwaarden nodig:
- Toetspeil;
- Significante golfhoogte;
- Piekperiode;
- Maatgevende hoek van inval.

In dit project worden de randvoorwaarden door de opdrachtgever aangeleverd, die ze bepaalt met het programma HYDRA_M (HYDRA_Q is niet beschikbaar, maar de randvoorwaarden uit HYDRA_Q voor dit vak later blijken niet noemenswaardig af te wijken). Voor negen vakken wordt een combinatie van golfhoogte H_s en golfperiode T_p vastgesteld. Deze ene combinatie van golfhoogte en -periode geldt in dit geval niet alleen als randvoorwaarde bij de maatgevende waterstand, maar ook bij lagere waterstanden.

9.2.2 Vaststellen vakindeling

In eerste instantie wordt een verdeling gemaakt op bekledingstype en in belastingvakken. Dit leidt tot een vakindeling in lengterichting van 26 vakken, in lengte variërend van 40 m tot 2,3 km. Vervolgens wordt elk 'lengtevak' onderverdeeld in stroken op basis van de ingemeten profielen en bekledingskenmerken. Daarna wordt een onderverdeling gemaakt in vakken onder en boven Toetspeil. Dit resulteert in 173 vakken. Voor ieder vak is de belasting constant, het bekledingstype gelijk en de taludhelling ongeveer constant. Deze 173 vakken worden ieder afzonderlijk getoetst.

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

9.3 TOETSING

Volgens de stroomschema's (figuur 4.1 en 4.2) worden 5 hoofdsporen onderscheiden: toplaaginstabiliteit onder golfaanval, toplaaginstabiliteit onder langsstroming, afschuiving, materiaaltransport vanuit ondergrond en materiaaltransport vanuit granulaire laag. Op welke sporen er getoetst moet worden hangt af van de locatie van een vak. Voor de vakken boven Toetspeil wordt, conform het stroomschema van figuur 4.2, alleen de score op het beoordelingsspoor toplaaginstabiliteit berekend. Voor de vakken onder Toetspeil (figuur 4.1) wordt op de beoordelingssporen toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport getoetst.

De toetsing wordt beschreven aan de hand van de stroomschema's uit sectie II van dit rapport. De toetsing is in werkelijkheid uitgevoerd met het programma Steentoets, versie 3.20.

In deze paragraaf wordt – aan de hand van de stappen uit de stroomschema's – het verloop van de toetsing besproken. Hiertoe wordt één bekledingsvak nader uitgewerkt en worden de resultaten voor de gehele dijk in het algemeen uitgewerkt. De parameters van het nader uitgewerkte bekledingsvak staan in tabel 9.2.

9.3.1 Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)

De toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval wordt alleen uitgevoerd voor de vakken die zich onder Toetspeil bevinden.

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

Stap 1 Gedrag

Voor de beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Indien de score op het gedrag 'onvoldoende' is, heeft dit heeft tot gevolg dat het vak de eindscore 'onvoldoende' heeft.

Voorbeeld bekledingsvak
Er zijn geen ervaringsgegevens over het oplichten van toplaagelementen. Daarom is er geen reden om op basis van het gedrag 'onvoldoende' te geven. De toetsing wordt vervolgd met stap 2.1.

Alle bekledingsvakken
Er is geen reden om op basis van gedrag 'onvoldoende' te geven.

Volgnummer	115-2
Bekledingstype	basalt
Begrenzing	23,8 km tot 25,25 km
Hoogte	NAP –0,2 m tot NAP + 0,6 m
Taludhelling (tan hoek)	1 : 2,9 (0,336)
Toplaag	
Dikte (D)	0,247 m
Dichtheid	2900 kg/m^2
Open ruimte	12%
ξ_{0p}	1,720
$H_s/\Delta D$	4,326
Granulaire laag	
Dikte (b_f)	0,16 m
D_{f15}	14,6 mm
Porositeit (n)	0,40
Vlijlaag	aanwezig
Klei	
Dikte (b_k)	1,310 m
Randvoorwaarden	
Toetspeil	NAP + 0,71 m
Golfhoogte (H_s)	2,03 m
Golfperiode (T_p)	5,84 s

Tabel 9.2
De parameters van het in dit voorbeeld nader uit te werken bekledingsvak

Stap 2 Black-boxgrafieken (eenvoudige toetsing)

2.1 berekeningen

De rekenmethode wordt gekenmerkt door een empirische relatie tussen de sterkteparameter $H_s/\Delta D$ en de belastingparameter ξ_{0p}. Met de 'blackbox'-grafieken wordt bepaald of een bekledingsvak voldoet of niet.

Voorbeeld bekledingsvak
Dit bekledingsvak valt onder type 3b; steenzetting op granulaire laag met normale constructies. Met de gegevens van de belastingsparameter (ξ_{0p} = 1,720) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$ = 4,236) wordt figuur 4.9 gelezen en blijkt dat de relatie 'twijfelachtig' is. Er moet verder worden gegaan met stap 2.2.

Alle bekledingsvakken
90% van de vakken is type 3b (steenzetting op granulaire laag, normale constructie). Deze vakken worden getoetst met figuur 4.9. 10% van de vakken is type 2 (steenzetting op 'goede' klei). Deze vakken worden beoordeeld met figuur 4.7.
De resultaten van de berekeningen zijn:
- 70% (118 vakken) scoort 'twijfelachtig';
- 25% (43 vakken) scoort 'onvoldoende';
- 5% (12 vakken) scoort 'goed'.

Voor de 70% die de score twijfelachtig heeft is verdere toetsing noodzakelijk, stap 2.2.

2.2 type steenzettingen
Het verdere verloop van de toetsing is afhankelijk van het type steenzetting. Bij stap 2.1 is reeds aangeven welke type steenzetting op het vak aanwezig is.

Voorbeeld bekledingsvak
In stap 2.1 is al bepaald dat het gaat om steenzetting type 3b, steenzetting op granulaire laag met een normale constructie. Hiervoor moet de toetsing worden voorgezet met een gedetailleerd model; stap 3.

Alle bekledingsvakken
De 70% (118 vakken) die verder getoetst zijn, zijn voor het merendeel type 3 (111 vakken). De gedetailleerde methode (stap 3) is voor deze bekledingsvakken noodzakelijk. Slechts 7 vakken zijn van het type 2, welke in stap 4 getoetst worden.

Stap 3 Analytische methode (gedetailleerde toetsing)
Alleen voor steenzettingen van type 3 kan de toetsing worden uitgevoerd met de analytische methode (het computerprogramma ANAMOS). Hierbij wordt er rekening gehouden met de doorlatendheid van de toplaag en van de granulaire laag.

Voorbeeld bekledingsvak
Het resultaat van de berekeningen met ANAMOS is dat het bekledingsvak 'stabiel' is. De toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval wordt dus afgesloten met de score 'goed'.

Alle bekledingsvakken
111 bekledingsvakken worden getoetst volgens deze methode. De rekenmethode volgens ANAMOS is verwerkt in Steentoets. Slechts 3 vakken scoren na een gedetailleerde toetsing 'goed'. De overige vakken krijgen de tussenscore 'twijfelachtig', waardoor geavanceerde toetsing (stap 4) nodig is.

Stap 4 Geavanceerde toetsing
Afhankelijk van het bekledingstype wordt deze toetsing uitgevoerd bij bekledingsvakken met een 'twijfelachtig' tussenscore na eenvoudige toetsing (stap 2.2) of na gedetailleerde toetsing (stap 3).

Voorbeeld bekledingsvak
Niet noodzakelijk, bekledingsvak is 'goed' gekeurd.

Alle bekledingsvakken
108 vakken van type 3 (bepaald via stap 3) en 7 vakken van type 2 (bepaald via stap 2.2) zouden geavanceerd getoetst moeten worden. Aangezien het niet binnen het kader van het project valt om geavanceerd te toetsen, zijn de tussenscores 'twijfelachtig' veranderd in 'geen oordeel'. Nader onderzoek naar de stabiliteit van deze vakken is gewenst.

Het nader uitgewerkte bekledingsvak is 'goed' gekeurd voor toplaaginstabiliteit onder golfaanval. Voor het dijkvak als geheel geldt dat de scores, ook na een gedetailleerde toetsing, niet positief zijn:
- 9% van de vakken (15 vakken) scoort 'goed';
- 66% van de vakken (115 vakken) scoort 'geen oordeel';
- 25% van de vakken (43 vakken) scoort 'onvoldoende'.

Gemeten in het bekledingsoppervlak (in plaats van het aantal vakken) is het percentage met een score 'onvoldoende' duidelijk groter en het percentage met een score 'geen oordeel' duidelijk kleiner.

9.3.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS)

De toetsing op toplaaginstabiliteit onder langsstroming wordt alleen uitgevoerd voor de vakken die zich onder Toetspeil bevinden. Deze toetsing is voornamelijk van belang bij dijken langs zeeën en rivieren. De stroomsnelheden in een meer zijn te verwaarlozen. Daarom is een toetsing van de toplaaginstabiliteit onder langsstroming bij meren niet noodzakelijk. Alle bekledingsvakken hebben de score 'goed' gekregen.

9.3.3 Afschuiving (ZAF)

De toetsing op afschuiving wordt alleen uitgevoerd voor de vakken die zich onder Toetspeil bevinden.

Stap 1 Eenvoudige toetsing

De eerste stap in de toetsing is het vaststellen of op basis van eenvoudige kenmerken direct kan worden gesteld dat er geen gevaar voor afschuiving is. Bovendien wordt de toepasbaarheid van de gedetailleerde methode van stap 2 gecontroleerd. Er wordt getoetst met behulp van vier voorwaarden over de dijkopbouw en dit kan naar een eindscore 'goed', stap 2 (en 3) of direct naar stap 3 leiden.

1.1 bekleding ligt op kleikern

Er is geen gevaar voor afschuiving als de steenzetting (inclusief geotextiel en/of granulaire laag) direct op de kleikern van de dijk is geplaatst.

Voorbeeld bekledingsvak

De steenzetting ligt niet direct op de kleikern, er ligt nog een granulaire laag van puin en een vlijlaag tussen. De toetsing wordt voorgezet met stap 1.2.

Alle bekledingsvakken

Bij de Oostvaardersdijk-Noord bestaat de kern van de dijk niet uit klei maar uit zand. De steenzetting kan dus niet direct op de kleikern liggen. De score 'goed' kan voor geen enkel bekledingsvak worden gegeven op basis van de opbouw van de dijk.

1.2 bekleding ligt op zandscheg

Deze stap betreft een van de toepasbaarheidsvoorwaarden voor de gedetailleerde methode in stap 2. Wanneer het profiel een zandscheg bevat, kan er niet gedetailleerd worden getoetst. Een geavanceerde toetsing (stap 4) is dan noodzakelijk. Bevat het profiel geen zandscheg, dan wordt de toetsing voorgezet met stap 1.3.

Voorbeeld bekledingsvak

In het dijklichaam van dit bekledingsvak is geen zandscheg aanwezig. De toetsing wordt voortgezet met stap 1.3.

Alle bekledingsvakken

Een zandscheg komt in de Oostvaardersdijk-Noord niet voor. De toetsing wordt voorgezet met 1.3.

1.3 golfhoogte kleiner dan kleilaagdikte

Bij veel steenzettingen ligt de bekleding op een kleilaag op de zandkern. Als de significante golfhoogte (H_s) kleiner is dan de kleilaagdikte (b_k), is de eindscore 'goed'. Bij een andere eindscore wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4. Deze regel is overigens vooral relevant voor rivierdijken.

Voorbeeld bekledingsvak
De significante golfhoogte H_s (2,03) is groter dan de kleilaagdikte (1,310). De toetsing wordt voortgezet met stap 1.4.

Alle bekledingsvakken
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en is in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Aangenomen wordt dat niet aan de eisen van deze stap wordt voldaan. De tussenscore is 'onvoldoende' en er wordt verder getoetst met stap 1.4.

1.4 talud steiler dan 1:2,7
Als het talud steiler is dan 1:2,7 kan er niet gedetailleerd worden getoetst en is een geavanceerde toetsing (stap 4) noodzakelijk.

Voorbeeld bekledingsvak
Bij een taludhelling van 1:2,7 geldt een taludhoek van 0,354. De taludhoek van dit bekledingsvak (0,336) is kleiner, dus is het talud flauwer dan de toepasbaarheids-voorwaarden. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.

Alle bekledingsvakken
55 bekledingsvakken zijn steiler dan 1:2,7 en moeten geavanceerd getoetst worden. De overige 55 bekledingsvakken kunnen in stap 2 gedetailleerd worden getoetst.

Stap 2 Toetsing met rekenregel (gedetailleerde toetsing)
Met de rekenregel worden de vakken met een taludhelling flauwer dan 1:2,7 getoetst. In de rekenregel wordt gebruik gemaakt van de volgende parameters: de totale laagdikte ($\Delta D + b_f + b_k$), de golfhoogte (H_s), de piekperiode (T_p), de taludhelling (α) en de korrelgrootte van het zand (D_{15}).
Van de rekenregel zijn in grafieken voor verschillende waarden van golfsteilheid en taludhelling relaties tussen golfhoogte en en totale laagdikte weergeven. (figuur 4.20). Deze relaties brengen scheiding aan tussen de scores 'goed'en 'twijfelachtig'.
Deze grafieken zijn maar voor enkele gevallen bruikbaar, maar als de taludhelling overeenkomt, kan er voor de golfsteilheid geïnterpoleerd worden tussen de verschillende grafieken. Voor de golfsteilheid (H_s / L_{0p}) moet eerst de L_{0p} bepaald worden:
$L_{0p} = gT_p^2 / 2\pi$.

Voorbeeld bekledingsvak
Eerst wordt bepaald of er met behulp van de golfsteilheid en de taludhelling gebruik kan worden gemaakt van de grafieken. Is dit het geval, dan hoeft de rekenregel niet toegepast te worden. De taludhelling (0,336) komt overeen met de taludhelling van 0,33. De golfsteilheid is 0,038. Deze waarde wordt verkregen door toepassing van:
H_s (2,03) / L_{0p} ($9{,}81 \bullet (5{,}84)^2 / 2\pi = 53{,}25$).
Voor een taludhelling van 0,33 zijn twee grafieken gegeven, behorende bij een golfsteilheid van 0,05 en 0,03. Aangezien voor dit bekledingsvak de golfsteilheid 0,038 bedraagt moet er geïnterpoleerd worden tussen de twee grafieken.
De grafieken hebben als invoer de totale laagdikte (0,247 + 0,160 + 1,310 = 1,717 m) en de golfhoogte (2,03 m). De grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig' wordt bepaald door de korrelgrootte van het zand (D_{15}). Deze is onbekend, er wordt uitgegaan van de ongunstigste situatie D_{15} = 0,10 mm. In beide grafieken komen de waarden in het 'goed' gedeelte uit, zodat bij interpolatie het bekledingsvak de score 'goed' krijgt.

Alle bekledingsvakken
55% van de gedetailleerd getoetste vakken (30 vakken) scoort 'goed';
45% van de gedetailleerd getoetste vakken (25 vakken) scoort 'twijfelachtig'; deze vakken moeten geavanceerd getoetst worden.

Stap 3 Geavanceerde toetsing
Als uit gedetailleerde toetsing geen eindscore 'goed' volgt, moet de bekleding geavanceerd worden getoetst met een grondmechanisch eindige-elementenprogramma.

Voorbeeld bekledingsvak
Niet noodzakelijk, bekledingsvak scoort 'goed'.

Alle bekledingsvakken
25 vakken zouden geavanceerd getoetst moeten worden. Aangezien het niet binnen het kader van het project viel om geavanceerd te toetsen, is de tussenscore 'twijfelachtig' omgezet in de eindscore 'geen oordeel'. Nader onderzoek naar de stabiliteit van deze vakken is gewenst.

Het nader uitgewerkte bekledingsvak scoort 'goed' voor afschuiving. Het resultaat van alle bekledingsvakken op afschuiving is als volgt:
- 30 vakken scoren 'goed';
- 143 vakken scoren 'geen oordeel'.

9.3.4 Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO)
De toetsing op materiaaltransport vanuit de ondergrond wordt alleen uitgevoerd voor de vakken die zich onder Toetspeil bevinden.

Stap 1 Gedrag
Voor een beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Als de score op het gedrag 'onvoldoende' is, heeft dit tot gevolg dat het vak de eindscore 'onvoldoende' krijgt. Is de score op het gedrag 'goed' dan is de eindscore 'goed'. Bij het resultaat 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met stap 2.1.

Voorbeeld bekledingsvak
Uit het verleden zijn er geen holtes of verzakkingen bekend. Omdat de dijk niet regelmatig is belast, wordt de score op het gedrag 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.1.

Alle bekledingsvakken
Er zijn aan de dijk geen noemenswaardige zettingen van de bekleding geconstateerd, dus er is geen aanleiding om de score 'onvoldoende' toe te kennen. Volgens de beheerder is de dijk niet regelmatig belast; om die reden wordt de score op het gedrag 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.1.

Stap 2 Kwalitatieve toetsing (eenvoudige toetsing)

2.1 vlijlaag (eenvoudige toetsing)
Bij aanwezigheid van een vlijlaag zijn drie voorwaarden bepalend voor de score 'goed'. De ondergrond moet bestaan uit klei, de vlijlaag moet uit minimaal twee lagen baksteen bestaan en de vlijlaag moet in goede staat verkeren.

Voorbeeld bekledingsvak
In dit bekledingsvak is een vlijlaag aanwezig. Vervolgens wordt er in deze toetsingsregel naar de drie voorwaarden gekeken. De ondergrond van dit bekledingsvak bestaat uit klei. Onbekend is of de vlijlaag uit minimaal twee lagen baksteen bestaat. Daarnaast is onbekend of de vlijlaag in een goede staat verkeerd. Doordat er niet aan alle drie de voorwaarden wordt voldaan kan dit bekledingsvak nog niet de score 'goed' krijgen. De toetsing gaat verder met stap 2.2.

Alle bekledingsvakken
In 102 vakken (93% van de vakken onder Toetspeil) is een vlijlaag op klei aanwezig. Hiervoor geldt ook dat onbekend is of de vlijlaag uit minimaal twee lagen bestaat en hoe de staat van de vlijlaag is. Dus krijgen deze bekledingsvakken de score 'twijfelachtig'. De resterende 8 bekledingsvakken beneden Toetspeil bestaan uit betonzuilen op een geotextiel en moeten zeker verder getoetst worden (score 'twijfelachtig').

2.2 filter (granulair of geokunststof)
Voor deze toetsingsregel gaat het om de aanwezigheid van een filter. Bij afwezigheid van een filter wordt de toetsing voortgezet met stap 2.3. Is er wel een filter aanwezig, dan moet de toetsing worden voortgezet met stap 3.

Voorbeeld bekledingsvak
De steenzetting ligt niet direct op de kleilaag, er bevindt zich nog een granulaire laag van puin en een vlijlaag tussen. Hierdoor wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Alle bekledingsvakken
Voor alle bekledingsvakken geldt dat de steenzetting niet direct op de kleilaag is geplaatst, zodat alle bekledingsvakken doorgaan met stap 3.

2.3 erosiebestendigheid van de klei (eenvoudige toetsing)
Als een toplaag direct op de kleilaag ligt, dan zijn de kwalitieve kenmerken van de klei bepalend voor de erosiebestendigheid. 'Matig erosiebestendige' of 'weinig erosiebestendige' klei krijgt de score onvoldoende. Bij 'goede/erosiebestendige' klei wordt voortgegaan met stap 5.

Voorbeeld bekledingsvak
Niet van toepassing op dit bekledingsvak.

Alle bekledingsvakken
Niet van toepassing voor alle bekledingsvakken.

Stap 3 Geometrische-dichtheid (eenvoudige toetsing)
De vakken die nader moeten worden getoetst bestaan uit een toplaag op een granulaire laag (op een geokunststof) op klei. Om te kunnen toetsen wordt er gekeken naar de grenswaarden voor de verhouding tussen de korrelgrootte van de bovenliggende laag en de onderliggende laag. Hierbij hangt de toetsing af van de laagopbouw tussen de toplaag en de ondergrond.

Voorbeeld bekledingsvak
Door het ontbreken van geokunststof gaat het bij dit bekledingsvak om de 'toplaag op granulaire laag op ondergrond' situatie. Hierbij is bepalend welke breedte gegradeerd materiaal is toegepast voor een indeling naar typen. Voor dit bekledingsvak is de granulaire laag smal gegradeerd ($D_{f85} \leq 10 \bullet D_{f15}$. Het toetsresultaat wordt bepaald

door de verhouding tussen de fijne fractie van het filtermateriaal (D_{f15} = 14,6 mm) en de gemiddelde korrelgrootte van de ondergrond (D_{50}). Deze laatste is onbekend, wel bekend is dat deze ondergrond uit klei bestaat, waardoor de verwachting geldt dat de score niet 'goed' zal zijn. De toetsing moet worden voortgezet met stap 4. Is de D_{50} niet onbekend, dan kan met behulp van de grafieken in figuur 4.15 de score bepaald worden.

Voorbeeld bekledingsvakken met beton op granulaire laag op geokunststof
Dit zijn 8 bekledingsvakken. De karakteristieke openingsgrootte is niet opgemeten, maar op het oog is vastgesteld dat de karakteristieke openingsgrootte groter is dan 0,1 µm. Op grond hiervan wordt aan de 8 vakken met steenzetting van betonzuilen de score 'twijfelachtig' toegekend. Deze vakken moeten dus gedetailleerd getoetst worden.

Alle bekledingsvakken
De resterende 102 bekledingsvakken krijgen de score 'twijfelachtig' en worden verder getoetst met stap 4.

Stap 4 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

De toetsregel in deze stap bestaat uit een vergelijking tussen het optredende en het kritieke verhang langs het grensvlak. Uit de toetsing op hydraulisch-dichtheid volgt een score 'goed' of 'onvoldoende'. Toetsing op hydraulisch-dichtheid is niet mogelijk als het filter alleen uit geokunstof bestaat.

Voorbeeld bekledingsvak
Doordat er geen geokunststoflaag aanwezig is wordt de toetsing uitgevoerd met ANAMOS. Het resultaat van deze toetsing is 'goed'.

Voorbeeld bekledingsvakken met beton op granulaire laag op geokunststof
Het kritieke verhang (i_{cr}) is voor ieder vak bepaald met de formule voor matige klei: $i_{cr} = 0{,}012 / n^2 D_{f15}$. De porositeit (n) = 0,4 en de dikte van de fijne fractie (D_{f15}) = 14,6 mm, waarmee het kritieke verhang op ongeveer 5,0 uitkomt. $i_{\uparrow}$ is voor ieder vak bepaald met het programma ANAMOS en bedraagt ongeveer 1,0. $i_{\downarrow}$ is gelijk aan sin (α); de sin van 0,336 (hellinghoek) is kleiner dan 1,0.
Voor alle 8 vakken is het optredend verhang kleiner dan het kritisch verhang; alle 8 vakken krijgen daarom de eindscore 'goed' op het spoor materiaaltransport vanuit de ondergrond.

Alle bekledingsvakken
Bij de resterende bekledingsvakken is geen geokunststoflaag aanwezig. De toetsing wordt uitgevoerd met ANAMOS. 54 bekledingsvakken krijgen de score 'goed', de resterende bekledingsvakken krijgen de score 'onvoldoende'.

Het nader uitgewerkte bekledingsvak scoort 'goed' voor materiaaltransport vanuit de ondergrond. Het resultaat van alle bekledingsvakken voor materiaaltransport vanuit de ondergrond is als volgt:
- 133 vakken scoren 'goed';
- 40 vakken scoren 'onvoldoende'.

9.3.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG)

Deze toetsing wordt alleen uitgevoerd voor de vakken die zich onder Toetspeil bevinden. Dit spoor is geen onderdeel van LTV99 en Steentoets, maar is met een aantal aannames ten behoeve van dit voorbeeld alsnog uitgewerkt.

Stap 1 Gedrag

Ook voor dit spoor bestaat de eerste stap uit een beoordeling van het gedrag. Als de score van een vak op het gedrag 'onvoldoende' is, dan is de eindscore 'onvoldoende'. Is de score op het gedrag 'goed', dan is de eindscore op het hoofdspoor materiaaltransport 'goed'.

Voorbeeld bekledingsvak
Net als bij materiaaltransport vanuit de ondergrond wordt de score op het gedrag 'twijfelachtig' en wordt de toetsing vervolgd met stap 2.

Alle bekledingsvakken
Er zijn op de dijk geen noemenswaardige zettingen van de bekledingen geconstateerd, dus er is geen aanleiding om de score 'onvoldoende' toe te kennen. Volgens de beheerder is de dijk niet regelmatig belast; daarom scoort het dijkvak voor gedrag 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.

Stap 2 Geometrisch-dichtheid (eenvoudige toetsing)

Een eenvoudige toetsingsregel bepaalt met D_{50} en de spleetbreedte of gatdiameter of er materiaaltransport plaatsvindt. Zo niet, dan is de score 'goed', anders is de score 'twijfelachtig'.

Voorbeeld bekledingsvak
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en is in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Ten behoeve van dit voorbeeld is de mogelijkheid tot materiaaltransport bepaald. Dit hangt af van D_{50}($D_{50} = 1{,}2 \bullet D_{f15}$) en de spleetbreedte of gatdiameter. $D_{50} = 1{,}2 \bullet 14{,}6 =$ 17,52 mm. Aangenomen wordt dat de gatdiameter 0,03 m. is. Hiermee is de D_{50} kleiner dan de gatdiameter en wordt de score 'twijfelachtig'. De toetsing wordt voortgezet met stap 3.

Alle bekledingsvakken
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en is in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Ook hier wordt aangenomen dat niet aan de eisen van deze stap wordt voldaan. De tussenscore is 'twijfelachtig' voor alle 110 dijkvakken. Deze vakken dienen in stap 3 gedetailleerd getoetst te worden.

Stap 3 Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerde toetsing)

Stap 3 bestaat uit het bepalen van de erosiediepte in de voegvulling tussen de openingen van de toplaag m.b.v. een empirisch afgeleide formule. Wanneer de erosiediepte kleiner is dan de dikte van de toplaag, is het transport van materiaal uit de granulaire laag niet mogelijk. De score is dan 'goed'.

Voorbeeld bekledingsvak
Ten behoeve van dit voorbeeld is de erosiediepte bepaald met de formule voor gatdiameters kleiner dan 0,1 m. De waarde van de erosiediepte Y bedraagt 0,10 m; volgens de toetsingsregel is de score 'goed' als de toplaagdikte minimaal 1,5 maal groter is dan de erosiediepte Y. Dit bekledingsvak krijgt de eindscore 'goed'.

Alle bekledingsvakken
Deze stap is geen onderdeel van LTV99 en is in werkelijkheid dus niet uitgevoerd. Ook hier wordt aangenomen dat aan de eisen van deze stap wordt voldaan. De tussenscore is 'goed' voor alle 110 bekledingsvakken.

Stap 4 Geavanceerde toetsing
Bij een score 'twijfelachtig'in stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken.

Voorbeeld bekledingsvak
Niet van toepassing op dit bekledingsvak.

Alle bekledingsvakken
Niet van toepassing op alle bekledingsvakken.

Omdat deze toetsingsregel nog niet wordt toegepast in de LTV99, zijn er door deze toetsregel geen bekledingsvakken afgekeurd.

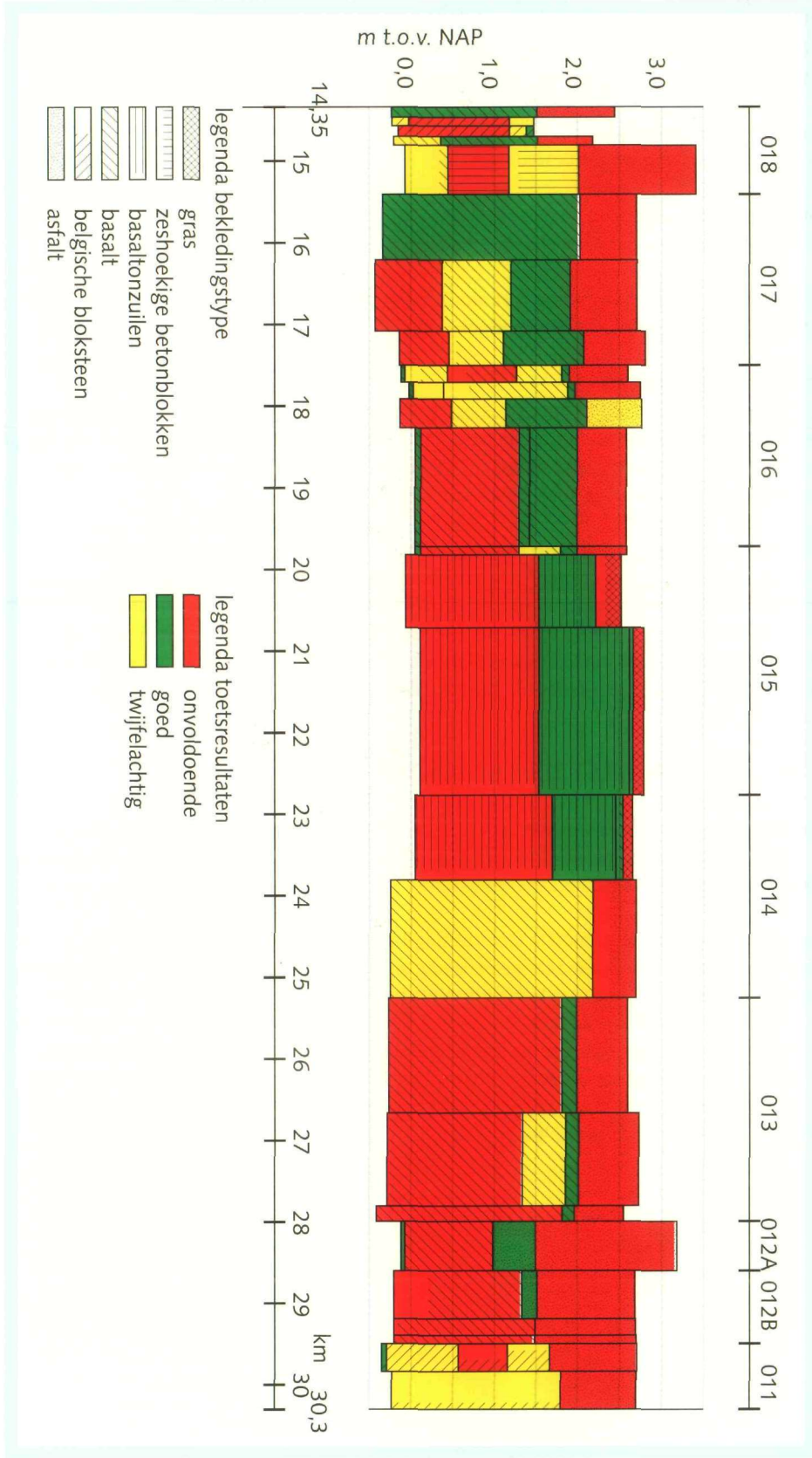
9.3.6 Resultaten
De toetsresultaten staan in figuur 9.3 op de volgende pagina. Dit zijn de gesommeerde resultaten. De slechtste score op de behandelde toetssporen geldt als eindscore. De figuur geeft de toetsresultaten van het werkelijke project en komt niet geheel overeen met de resultaten van de toetsing zoals beschreven in dit voorbeeld.

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

9.4 OMGAAN MET DE RESULTATEN

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

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



Figuur 9.3
Toetsresultaten uitgesplitst per dijkvak

Bijlagen

A PARAMETERS VOOR TOETSING STEENZETTINGEN

B HET GEBRUIK VAN ANAMOS

C REKENPROCEDURE STEENZETTING OP/BOVEN BERM

SYMBOLEN

BEGRIPPEN

SAMENSTELLING EXPERTISEGROEP EN GEBRUIKERSGROEP STEENZETTINGEN

REGISTER

BIBLIOGRAFIE

Bijlage A Parameters voor toetsing steenzettingen

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

Er worden acht groepen parameters onderscheiden:
1 hydraulische belasting;
2 algemene gegevens over de constructie;
3 toplaag steenzettingen;
4 granulaire laag steenzettingen;
5 geokunststof;
6 vlijlaag;
7 basismateriaal steenzettingen;
8 Noorse stenen en breuksteenoverlaging.

Zij worden in aparte paragrafen behandeld. Voor elke parameter komen de volgende aspecten aan de orde:
- een definitie (voor zover relevant);
- de rol in het toetsingsproces;
- de wijze van bepaling;
- het omgaan met onzekerheden.

A.1 HYDRAULISCHE BELASTING

Bij de meeste steenzettingen hoeft in de toetsing 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 (A.1.1);
- golfperiode (A.1.2);
- golflengte (A.1.3);
- golfinvalshoek (A.1.4);
- Toetspeil (A.1.5);
- Gemiddelde Hoogwaterstand/Meerpeil (A.1.6);
- maatgevende waterstand per toetsvak (A.1.7);
- maatgevende belastingduur (A.1.8);
- stromingsbelasting (A.1.9);
- dichtheid water (A.1.10);
- brekerparameter (A.1.11);
- golfoploopniveau (A.1.12).

Berekening van de 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 geen onderscheid gemaakt.

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.

Met de Hydra-programmatuur rekent de beheerder of de toetser 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. Verder geeft de gebruiker aan tussen welke grenzen en met welk hoogte-interval de randvoorwaarden moeten worden uitgerekend. 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 discreet punt dat de gebruiker heeft opgegeven. Vanzelfsprekend worden de verdere ontwerp- en toetsingsberekeningen niet voor elk interval van 0,1 m uitgevoerd, zie 3.3. Voor verdere informatie over Hydra, zie [lit.6].

Voor de andere regio's worden de hydraulische randvoorwaarden voor de toetsing gegeven in HR2001 [lit.5]; vaak staan daarbij ook golfgegevens, maar in het algemeen zijn deze bedoeld voor de toetsing van de kruinhoogte en volstaan ze niet voor de toetsing van bekledingen op het buitentalud. De randvoorwaarden voor de toetsing van bekledingen worden in aanvulling op HR2001 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 toetser van de steenzetting gemaakt: de resultaten worden 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 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 A.1.1 en A.1.2).

Bij de bespreking van de golfparameters wordt aandacht besteed aan beide methoden. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de toetser 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 deze situaties zich voordoen, is in het algemeen nadere specialistische studie nodig.

scheepsgolven
Maatgevende waarden voor scheepsgolven worden niet aangeleverd in het kader van het HR2001 [lit.5]. 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 programma DIPRO. In tabel A.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	$i_f = H_s / L_{0p} = H_s / (gT_p^2 / 2\pi)$
Waterspiegeldaling	Δh	$\Delta h = H_s$
Haalgolven	golfhoogte z_{max}	$z_{max} = H_s$
	golfsteilheid i_{max}	$i_{max} = H_s / L_{0p} = H_s / (gT_p^2 / 2\pi)$
Secundaire golven	golfhoogte H_i	$H_i = H_s$
	golfperiode T_i	$T_i = T_p$

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

A.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 [lit.3], 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 volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: alle niveaus;
- afschuiving: alle niveaus;
- materiaaltransport (vanuit ondergrond én granulaire laag): gedetailleerd;
- erosie van de onderlagen: alle niveaus.

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_{0p} worden berekend (zie A.1.11). Uit de golfhoogte, de toplaagdikte en de dichtheid van de toplaagelementen volgt de verhouding $H_s/\Delta D$, die een belangrijke rol speelt in de eenvoudige toetsregels voor toplaaginstabiliteit.

Wijze van bepaling

Voor een toetser volgt informatie over de golfhoogte uit HR2001 [lit.5] of Hydra-programmatuur. Zoals besproken in aan het begin van A.1 wordt de berekening van de 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.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de toetsing van een steenzetting is de aangeleverde waarde voor H_s 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.

A.1.2 Golfperiode

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

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 2.1.

In sommige gevallen, bijvoorbeeld in de regels van Van der Meer voor Noorse stenen en breuksteenoverlaging, speelt ook de gemiddelde golfperiode T_m een rol; deze is 10% à 30% kleiner dan T_p; de exacte verhouding hangt af van de vorm van het golfspectrum, zie Achtergronden 2.1.

Rol

De golfperiode T_p speelt een rol in de volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: alle niveaus;
- materiaaltransport vanuit de ondergrond: gedetailleerd;
- erosie van de onderlagen: alle niveaus.

De gemiddelde golfperiode T_m is van belang bij de bepaling van het aantal golven N, benodigd voor de rekenregels volgens de methode Van der Meer in de gedetailleerde toetsing van Noorse stenen en breuksteenoverlagingen.

Voor toplaaginstabiliteit, materiaaltransport en erosie van de onderlagen geldt dat een grotere golfperiode leidt tot een grotere belasting.

Wijze van bepaling

Voor een toetser volgt informatie over de golfperiode uit HR2001 [lit.5] of Hydra-programmatuur. Zoals besproken aan begin van A.1 wordt de berekening van de randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ worden berekend (zie A.1.11).

Wel wordt kort ingegaan op de berekening van de reducerende invloed van het voorland. Zoals besproken in A.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: $T_p = 3{,}4 \bullet \sqrt{d}$, 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.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de toetsing van een steenzetting is de aangeleverde waarde voor T_p 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 de toetsing van steenzettingen gewerkt met een golfperiode die op 0,1 s nauwkeurig is afgerond.

A.1.3 Golflengte

Definitie

In de rekenregels wordt meestal gebruik gemaakt van de golflengte op diep water L_0. Deze is gedefinieerd als $L_0 = gT^2 / 2\pi$. De diepwatergolflengte 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 A.1.11.

A.1.4 Golfinvalshoek

Definitie
De golfinvalshoek β is gedefinieerd als de hoek tussen de invalsrichting van de golven en de normaal op de dijk. Bij loodrechte inval is de golfinvalshoek β dus gelijk aan 0.

Rol
De golfinvalshoek speelt een rol in de toetsing op erosie van de onderlagen: er zijn verschillende toepassingsvoorwaarden voor golfinvalshoeken groter en kleiner dan 20°.

A.1.5 Toetspeil

Rol
Het Toetspeil speelt in de toetsing van steenzettingen geen directe rol als belastingparameter, maar wel een indirecte rol omdat het de hoogste waterstand is waarmee in de toetsing rekening wordt gehouden. Daarnaast bepaalt de ligging van de steenzetting ten opzichte van het Toetspeil op welke mechanismen moet worden getoetst. Boven het niveau Toetspeil wordt een steenzetting alleen getoetst op toplaaginstabiliteit door golfoploop (dus niet op afschuiving en materiaaltransport).

Wijze van bepaling
Voor een toetser volgt informatie over het Toetspeil uit HR2001 [lit.5] of Hydra-programmatuur. Zoals besproken aan het begin van A.1 wordt de berekening van de randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport.

In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een Toetspeil dat op 0,05 m nauwkeurig is afgerond.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
Voor de toetsing van een steenzetting is de aangeleverde waarde voor het Toetspeil 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.

A.1.6 Gemiddelde Hoogwaterstand (GHW)/Meerpeil (MP)

Rol
De gemiddelde hoogwaterstand of het Meerpeil speelt een rol in de gedetailleerde toetsing op erosie van de onderlagen.

Wijze van bepaling
De Gemiddelde Hoogwaterstand in het getijgebied volgt uit getijtafels en kan voor elke locatie worden opgevraagd. In het benedenrivierengebied kan daarbij rekening worden gehouden met de gemiddelde afvoer. Bij een steenzetting langs meerdijken kan het Meerpeil worden gebruikt. Voor het bovenrivierengebied is reststerkte niet relevant door de langdurige belasting.

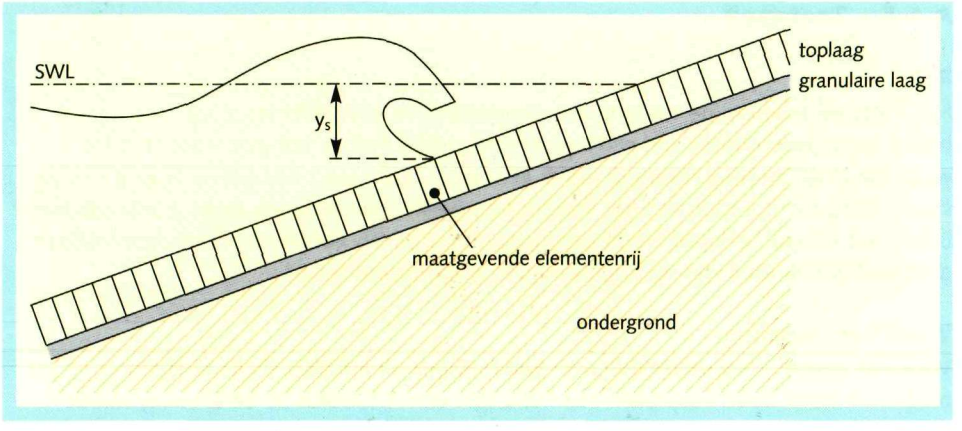
In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een GHW-waarde die op 0,05 m is afgerond.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De bepaalde waarde kan rechtstreeks worden gebruikt.

A.1.7 Maatgevende waterstand per toetsvak

Rol

De waterstand binnen de golfklapzone zorgt niet voor rechtstreekse belasting op de steenzetting: de enige rol van de waterstand in de toetsing is dat die bepaalt welk punt op de bekleding het zwaarst door golven wordt belast. Het zwaarst belaste punt ten aanzien van toplaaginstabiliteit ligt een waarde y_s onder de stilwaterstand (zie figuur A.1). Andersom betekent dit dat voor elke locatie de maatgevende omstandigheden horen bij de waterstand die een waarde y_s hoger ligt.



Figuur A.1
Bepaling maatgevende waterstand

De waarde van y_s hangt af van de golfparameters en de taludhelling:

$$y_S = 0{,}11 \cdot H_s \cdot \left(\frac{1{,}56 \cdot T_p^2 \cdot \tan\alpha}{H_s} \right)^{0{,}8}$$

met als maximum $y_s = 1{,}5 \bullet H_s$

Met:

y_s	=	verschil maatgevende waterstand en te toetsen 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 rekenmethode 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 Toetspeil.

Wijze van bepaling

Zoals besproken in aan het begin van A.1 wordt de berekening van de randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport. Voor deze parameter is er echter een onderscheid tussen de beide wijzen van aanlevering van de randvoorwaarden. In de Hydra-programmatuur worden de randvoorwaarden voor elk gewenst niveau op de bekleding berekend; hierin is de parameter y_s dus al verwerkt. Bij de aanlevering in tabellen is dit niet mogelijk, omdat de waarde van y_s mede wordt bepaald door de taludhelling. De aangeleverde randvoorwaarden horen in dat geval dus bij een waterstand; voor elke locatie moeten de maatgevende waterstand en de bijbehorende golfrandvoorwaarden afzonderlijk worden uitgerekend.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

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

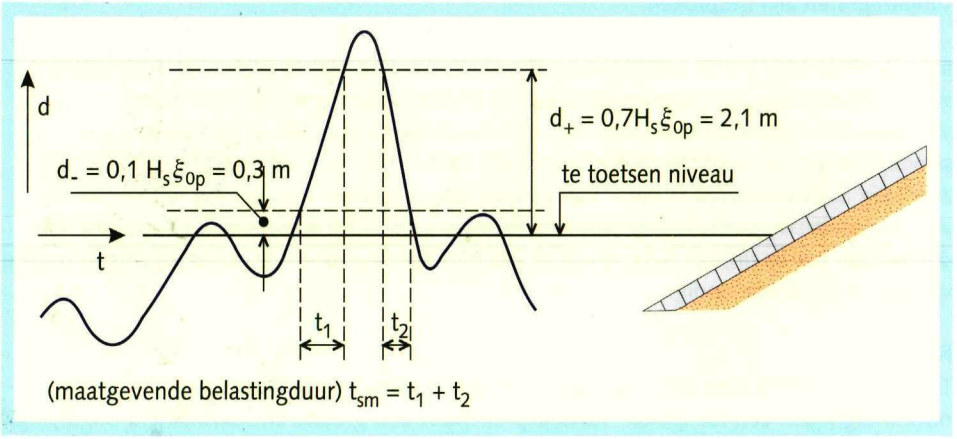
In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een waterstand die op 0,1 m nauwkeurig is afgerond.

A.1.8 Maatgevende belastingduur

Definitie

Speciaal bij Noorse stenen en breuksteenoverlaging wordt in de rekenregels het aantal golven N gebruikt. In maatgevende omstandigheden is dit aantal gelijk aan de stormduur gedeeld door de gemiddelde golfperiode T_m.

De maatgevende belastingduur t_{sm} voor elk punt van de bekleding is de tijdsduur waarover het betreffende punt door golven wordt belast in de loop van de maatgevende storm. Het betreft de som van de tijdsduren waarover de stilwaterstand zich bevindt binnen een bepaalde band boven het te toetsen punt (waterdiepte d). De maatgevende belastingduur t_{sm} voor het te toetsen punt begint zodra de waterdiepte d de ondergrens d_- heeft bereikt en stopt weer als de diepte is toegenomen tot boven de bovengrens d_+. Vervolgens begint t_{sm} weer op het moment dat de waterdiepte daalt tot onder d_+, en stopt weer zodra de diepte onder d_- komt. Dit is grafisch weergegeven in figuur A.2.



Figuur A.2 Definitie maatgevende belastingduur (Figuur 8-2.2 van VTV02)

Rol

Voor de bepaling van T_m (relevant voor het berekenen van het aantal golven tijdens een storm) wordt verwezen naar bijlage A.1.2.

- De maatgevende belastingduur speelt een rol in de toetsing op erosie van de onderlagen: deze is bepalend voor de tijdsduur waarover de onderlagen worden belast.
- Het aantal golven speelt een directe rol in de rekenregels volgens de methode Van der Meer in de gedetailleerde toetsing van Noorse stenen en breuksteenoverlagingen.

Wijze van bepaling

De maatgevende belastingduur t_{sm} wordt niet aangeleverd maar moet worden berekend. Voor de bepaling van t_{sm} is in de eerste plaats het waterstandsverloop tijdens maatgevende condities van belang; voor de verschillende watersystemen staat dit verloop in de *Leidraad Toetsen op Veiligheid* [lit.3], inclusief de maatgevende waarde van de stormduur. De ligging van d_- en d_+ ten opzichte van het te toetsen punt worden bepaald door de golfhoogte H_s en brekerparameter ξ_{0p} die horen bij de waterstanden. Verder wordt bij de berekening van d_- en d_+ onderscheid gemaakt tussen loodrechte en scheve golfinval.

Bij loodrechte golfinval (invalshoek β kleiner dan 20°) geldt:

$d_- = 0{,}1 \cdot H_s\xi_{0p}$

$d_+ = 0{,}7 \cdot H_s\xi_{0p}$

Bij scheve golfinval (invalshoek β groter dan 20°) is de band van waterdieptes smaller. Er geldt:

$d_- = 0{,}3 \cdot H_s\xi_{0p}$

$d_+ = 0{,}5 \cdot H_s\xi_{0p}$

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De bepaalde belastingduur en het aantal golven kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing. Overwegingen van representativiteit en nauwkeurigheid zijn verwerkt in de wijze van bepaling.

A.1.9 Stromingsbelasting

Definitie
In deze subparagraaf wordt alleen ingegaan op stroming langs een steenzetting (zoals bij een rivierdijk). In de rekenmethodes voor langsstroming wordt gebruik gemaakt van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de teen van het talud. Een steenzetting kan ook op stroming worden belast door golfoploop (bovenbeloop, kruin en binnentalud), maar de parameters van die belasting volgen uit de golfparameters die in de voorgaande subparagrafen zijn besproken.

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

In de toetspraktijk wordt aangenomen dat een bekleding niet tegelijkertijd door extreme golven en extreme stroming wordt belast. Er is geen rekenmethode beschikbaar voor situaties met een combinatie van deze twee belastingen. In de praktijk is stromingsbelasting alleen bepalend voor het resultaat als de maatgevende golfbelasting zeer laag is, bijvoorbeeld in geval van rivierdijken of -oevers. Wél kan bij het berekenen van maatgevende golfbelasting rekening worden gehouden met de invloed van stroming daarop (zie het begin van A.1). Als deze situaties zich voordoen, is in het algemeen nadere specialistische studie nodig.

Rol
Toplaaginstabiliteit door stroming: de stromingsbelasting kan in bijzondere omstandigheden een rol spelen. Vanzelfsprekend is een grotere stroomsnelheid ongunstig.

Wijze van bepaling
Zoals besproken in het begin van A.1 wordt de berekening van de randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport. Maatgevende stroomsnelheden worden niet standaard aangeleverd, maar moeten specifiek worden bepaald, bijvoorbeeld met tweedimensionale waterbewegingsberekeningen.

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 bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een stroomsnelheid die op 0,1 m/s nauwkeurig is afgerond.

A.1.10 Dichtheid water

Rol
Toplaaginstabiliteit en afschuiving: in de rekenmethodes wordt gewerkt met de relatieve dichtheid van de toplaagelementen, de parameter Δ. Definitie: $\Delta = (\rho_{te} - \rho_w)/\rho_w$.
met:

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
De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter. In de praktijk wordt alleen onderscheid gemaakt tussen zout water (1025 kg/m^3) en zoet water (1000 kg/m^3).

A.1.11 Brekerparameter

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

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

Met:

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_{0p} gebruikt; dit is de brekerparameter gebaseerd op de golflengte L_{0p}: de golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode T_p ($L_{0p} = gT_p^2/2\pi$). In de rekenregels volgens Van der Meer (in dit Technisch Rappport van belang voor Noorse stenen en breuksteenoverlaging) komt de brekerparameter ξ_m voor, gebaseerd op de golflengte L_{0m} die hoort bij de gemiddelde golfperiode T_m.

A.1.12 Golfoploopniveau

Definitie
Het golfoploopniveau $z_{2\%}$ 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.7].

Rol
Het golfoploopniveau $z_{2\%}$ speelt een rol in de toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op bovenbeloop, kruin en binnentalud.

A.2 ALGEMENE GEGEVENS OVER DE CONSTRUCTIE

De volgende gegevens worden in deze paragraaf besproken:
- taludhelling;
- voorlandhoogte.

A.2.1 Taludhelling

Rol
De taludhelling speelt een rol in de volgende toetsingen:

- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: alle niveaus;
- afschuiving: alle niveaus;
- materiaaltransport vanuit ondergrond: gedetailleerd;
- erosie van de onderlagen: alle niveaus.

Voor alle toetsingen geldt: hoe steiler hoe ongunstiger.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ_{0p} worden berekend (zie A.1.11).

Wijze van bepaling

niveau 1
Als in het archief recente inmetingen beschikbaar zijn, kunnen deze worden gebruikt voor de toetsing. De acceptabele ouderdom van de gegevens hangt af van de zettingen in het gebied, maar in het algemeen mogen de gegevens niet ouder zijn dan enkele jaren. Voor de taludhelling zijn bestekswaarden niet bruikbaar voor de toetsing.

Er bestaat enige ervaring met het meten van de hoogteligging vanuit een vliegtuig ('invliegen'). Hiermee kan een verticale nauwkeurigheid van plus of min 7 cm worden bereikt; de horizontale nauwkeurigheid is veel beter. De haalbare nauwkeurigheid van de taludhelling hangt dus af van afmetingen van de vlakken waarvoor de helling wordt bepaald: bij grote vlakken is het resultaat nauwkeuriger dan bij kleine vlakken.

niveau 2
In de meeste gevallen zal de taludhelling ten behoeve van de toetsing worden ingemeten en vastgelegd in dwarsprofielen of een Digitaal Terreinmodel (DTM). De gewenste ruimtelijke spreiding van de meetpunten moet vooraf zorgvuldig worden gekozen en hangt af van de verwachte variatie. Voor de toetsing zijn minimaal alle strookgrenzen en duidelijke knikken van belang, maar ook gedetailleerdere inmeting is mogelijk. Het kan zinvol zijn enkele profielen zeer gedetailleerd in te meten (bijvoorbeeld één punt per meter), om daardoor een exact beeld te krijgen van de variatie van de taludhelling.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Ingemeten taludhellingen kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten, in relatie tot de vakindeling (zie 3.3). Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet worden gerekend met de steilste waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden.

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

A.2.2 Voorlandhoogte

Rol

De voorlandhoogte kan voor de toetsing relevant zijn bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden: een hoger voorland kan leiden tot een lagere ontwerpgolfhoogte, dus een lagere belasting. In de aangeleverde randvoorwaarden is dit vaak niet verwerkt. Als een kleine verandering van de golfrandvoorwaarden invloed kan hebben op de toetsresultaten, is het zinvol de invloed van het voorland te bepalen. Daarvoor is een aanvullende modelberekening nodig. Met de Hydra-programma's kan het voorland door de gebruiker worden meegerekend. Deze rekenmethodes worden in dit technisch rapport niet verder behandeld (zie het begin van A.1). De invloed op de belasting op de teenbestorting wordt wel expliciet behandeld.

Wijze van bepaling

De ligging van het voorland is meestal bekend bij de betreffende beheerder, vastgelegd in oeverkaarten (niveau 1). Als dat niet zo is, kan de actuele ligging worden ingemeten (niveau 2). Voor de inschatting van een conservatieve waarde voor de toekomstige ontwikkeling kan gebruik worden gemaakt van ervaringsgegevens; aanvullend kan eventueel een morfologische studie worden uitgevoerd.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De toetsing beslaat de eerstvolgende periode van 5 jaar. Bij de bepaling van de

hydraulische randvoorwaarden moet rekening worden gehouden met de ontwikkeling van het voorland in die periode. Aangezien het voorland vaak buiten het beheersgebied van de dijkbeheerder ligt, is het verstandig in de toetsing rekening te houden met een conservatieve, dus lagere waarde voor het voorlandniveau.

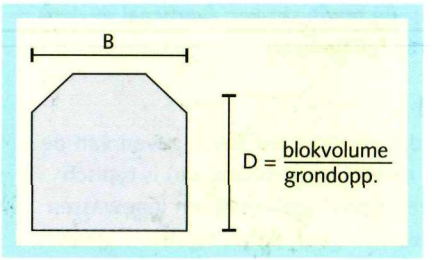
A.3 TOPLAAG STEENZETTINGEN

A.3.1 Toplaagdikte (=toplaagelementhoogte)

Definitie

Bij het beschouwen van de gehele toplaag wordt gesproken over de (laag)dikte, terwijl bij het beschouwen van losse toplaagelementen wordt gesproken over de (element)hoogte.

De rekenwaarde van de dikte van elk element is het gemiddelde van de dikte over het elementoppervlak. Dat is dus niet per definitie hetzelfde als de afstand tussen onderkant en hoogste punt. Definitie: de rekenwaarde van de elementdikte is het quotiënt van blokvolume en grondoppervlak (zie figuur A.3). Ecotops worden niet meegerekend bij de bepaling van de dikte.



Figuur A.3 Definitie toplaagdikte/ toplaagelementhoogte (zijaanzicht toplaagelement)

In de praktijk wordt de dikte van de toplaagelementen vanzelfsprekend meestal direct gemeten en niet bepaald door het blokvolume te delen door het grondoppervlak.

Rol

De toplaagdikte speelt een rol in de volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit (onder golfaanval en stroming): alle stappen;
- afschuiving: gedetailleerd;
- materiaaltransport vanuit de granulaire laag: alle niveaus;
- erosie van de onderlagen: gedetailleerd.

Wijze van bepaling

Voor alle toetsingen geldt: hoe dikker de toplaag, hoe gunstiger.

niveau 1

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat toplaagelementen niet of nauwelijks slijten. Revisiegegevens of eventueel besteksgegevens zijn bruikbaar voor fabrieksmatig geproduceerde elementen (betonzuilen of -blokken), maar niet voor elementen van natuursteen.

niveau 2

Bij open bekledingen kan soms een indicatie van de toplaagdikte worden verkregen door meting in de open ruimte tussen de elementen, bijvoorbeeld met een laselektrode. De waarde van zulke metingen is afhankelijk van het toplaagtype. Bij onregelmatig gevormde elementen kan niet goed worden gemeten volgens de definitie zoals hierboven gegeven; in dat geval kan deze meting wel dienen ter verificatie van al beschikbare gegevens.

Een recente ontwikkeling is dat op niet-destructieve wijze de toplaagdikte kan worden bepaald met behulp van grondradar. Op dit moment is deze techniek nog niet operationeel, maar in het stadium van praktijkproeven. Grondradar is vooral geschikt voor het bepalen van scherpe overgangen (toplaag – granulaire laag – kleilaag). Voorlopige resultaten wijzen uit dat de toplaagdikte met grondradar kan worden bepaald met een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Ingeschat wordt dat grondradar niet in plaats kan komen van het openbreken van de bekleding, omdat breekwerk altijd nodig is ten behoeve van referentiemetingen. Wel kan grondradar dienen om een beter beeld te krijgen van de variatie in de toplaagdikte tussen de breeklocaties, en om breeklocaties gerichter te kiezen zodat het aantal breeklocaties kan worden verkleind, zie [lit.9].

niveau 3
Als de eerste twee niveaus niet voldoen, moet de bekleding worden opengebroken om de toplaagdikte te bepalen. Op een voldoende aantal locaties worden er enkele elementen uit de toplaag verwijderd, zodat van vijf à tien elementen de dikte kan worden gemeten. De meetlocaties moeten zodanig worden gekozen dat er een goed beeld ontstaat van de spreiding van de dikte, voor elk bekledingsvak; de meetdichtheid wordt dus bepaald door een inschatting van de variatie binnen elk vak. Voor een tamelijk uniforme bekleding geldt als indicatieve richtwaarde één meetpunt per 100 à 200 strekkende meter, met een minimum van drie en een maximum van zeven meetpunten per bekledingsvak (maar een groter aantal levert natuurlijk altijd een beter beeld). Bij brede stroken (verticaal gezien) is het verstandig de onderste en bovenste helft apart te behandelen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De meetpunten moeten zodanig worden gekozen dat ze een goed beeld geven van de ruimtelijke spreiding (zie 'Wijze van bepaling'). Per meetpunt (breeklocatie) is typisch een set van orde 5 à 10 waarden beschikbaar. Bij een goed ingeklemde en ingewassen bekleding kan per meetpunt de gemiddelde dikte worden gebruikt als representatieve waarde (dus zonder veiligheidsfactor). Als in de bekleding mogelijk losse elementen voorkomen, is de representatieve waarde per meetpunt de minimale gemeten waarde, zie ook A.3.4. Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet worden gerekend met de kleinste representatieve waarde van de verschillende meetpunten.

In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een steendikte die op 1 cm nauwkeurig is afgerond.

A.3.2 Dichtheid toplaagelementen

Definitie
De dichtheid van de toplaagelementen ρ_{te} wordt uitgedrukt in kg/m^3. In de berekeningen is overigens de relatieve dichtheid Δ van belang (zie A.1.10). Behalve dichtheid worden ook wel de termen soortelijke dichtheid of soortelijke massa gebruikt. Er moet zorgvuldig onderscheid worden gemaakt met de dichtheid van de toplaag ρ_t: hierin is ook het open-ruimtepercentage Ω verwerkt. Definitie: $\rho_t = (1 - \Omega) \cdot \rho_{te}$.

Rol
De dichtheid van de toplaagelementen speelt een rol in de volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit (onder golfaanval én stroming): alle niveaus; in de rekenmethodes wordt gewerkt met de dichtheid van de toplaagelementen ρ_{te};
- afschuiving: gedetailleerd; in de rekenmethodes voor afschuiving moet worden gewerkt met de dichtheid van de toplaag ρ_t.

Voor alle toetsingen geldt: hoe groter de dichtheid, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

niveau 1
Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat de dichtheid niet of nauwelijks verandert. Indien niet beschikbaar wordt voor elementen van natuursteen of restproducten in eerste instantie altijd uitgegaan van de kleinste (meest conservatieve) waarden uit tabel A.2. Voor betonelementen wordt in eerste instantie uitgegaan van de bestekswaarden.

toplaagtype	dichtheid [kg/m^3]
betonzuilen	2300-3000
betonblokken	2300-2500
Haringmanblokken	0,9 à 0,95 maal dichtheid beton
basaltzuilen	2900-3100
granietblokken, Noorse stenen	2600-2700
koperslakblokken	2500-2700
Vilvoordse steen	2500-2700
Lessinese steen	2500-2700
Doornikse steen	2500-2700
'petit'graniet	2500-2700

Tabel A.2 Standaardwaarden dichtheid toplaagelementen

niveau 3 en 4
In sommige gevallen is het zinvol te verifiëren of de standaardwaarden geldig zijn voor de betreffende bekleding: als wordt ingeschat dat de standaardwaarden of de bestekswaarden geen veilige benadering geven en als een kleine verandering van de waarde invloed kan hebben op het toetsresultaat. De dichtheid van toplaagelementen kan worden geverifieerd met laboratoriumonderzoek, bijvoorbeeld van orde 10 elementen per toplaagtype. Specifiek voor koperslakblokken 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.

Als de dichtheid met laboratoriumproeven wordt bepaald, kunnen de gemeten waarden rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten, in relatie tot de vakindeling (zie 3.3).

In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een dichtheid die op 50 of 100 kg/m^3 nauwkeurig is afgerond.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel A.2 zijn bedoeld als conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing. Bestekswaarden van betonelementen kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren.

De rekenmethodes zijn gebaseerd op rechthoekige elementen, maar er worden ook betonelementen toegepast met afwijkende vormen. Het bekendste voorbeeld is het type Haringmanblokken: dit zijn betonblokken met een inkassing aan de bovenkant, bedoeld om de golfoploop te beperken. Het steengewicht per oppervlakte-eenheid is kleiner als gevolg van de inkassing, en daarmee moet rekening worden gehouden. Dit kan het beste worden gedaan via een omweg, door te rekenen met een fictieve (lagere) dichtheid (afhankelijk van de elementafmetingen 5 à 10%). In Achtergronden 8.7 wordt deze werkwijze onderbouwd. Bij Vilvoordse steen speelt een vergelijkbare kwestie: de toplaagelementen zijn niet blokvormig maar sterk afgerond, waardoor het elementgewicht orde 40% lager is dan wanneer het blokvormig zou zijn. Net als bij Haringmanblokken is het het meest praktisch deze reductie te verwerken in de dichtheid.

A.3.3 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-ruimte-percentage 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.

Rol

De open ruimte speelt een rol in de volgende toetsingen:

- toplaaginstabiliteit: in de eenvoudige toetsing is de parameter Ω mede bepalend voor het constructietype en in de gedetailleerde toetsing wordt expliciet gerekend met de open ruimte. Daarbij geldt: hoe groter de open ruimte, hoe gunstiger. Voorwaarde hierbij is dat de open ruimte min of meer regelmatig gespreid is over het oppervlak: de toplaagelementen moeten wel tegen elkaar aan staan.
- materiaaltransport vanuit de granulaire laag: alle niveaus. De spleetbreedte tussen de toplaagelementen is van belang: hoe groter de spleetbreedte, hoe ongunstiger.

Wijze van bepaling

niveau 1

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat de gemiddelde open ruimte niet snel verandert. Alleen bij verzakking van teen- en overgangsconstructies kan de waarde veranderen.

Als geen meetgegevens beschikbaar zijn wordt bij de toetsing op toplaaginstabiliteit in eerste instantie altijd uitgegaan van de kleinste (meest conservatieve) waarden uit tabel A.3. Voor materiaaltransport vanuit de granulaire laag kan voor de blokvormige elementen worden uitgegaan van de grootste waarden uit tabel A.3, maar voor de zuilvormige elementen moet de gatdiameter G in het veld worden bepaald (zie niveau 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
Vilvoordse steen	10-30 mm
Lessinese steen	3-30 mm
Doornikse steen	10-30 mm
'petit' graniet	3-30 mm

Tabel A.3 Standaardwaarden open ruimte tussen toplaagelementen

niveau 2

Als het open-ruimtepercentage in het veld wordt bepaald, kunnen de gemeten waarden rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten, in relatie tot de vakindeling (zie 3.3). Voor de gatdiameter G geldt hetzelfde.

In sommige gevallen is het zinvol te verifiëren of de standaardwaarden geldig zijn voor de betreffende bekleding: als wordt ingeschat dat de standaardwaarden geen veilige benadering geven en als een kleine verandering van de waarde invloed kan hebben op het toetsresultaat. Bij regelmatige elementen kunnen de spleetbreedtes worden opgemeten op de dijk. Met name bij granietblokken is er zoveel variatie dat het meestal de moeite loont om de spleetbreedte op te meten. Bij onregelmatige elementen zoals basaltzuilen kan het open-ruimtepercentage Ω worden bepaald door analyse van foto's. Een praktische werkwijze is digitale foto's in te lezen in een professioneel tekenprogramma, te bewerken en de oppervlakte te bepalen. Bij een toplaag van betonzuilen van het merk Basalton kan rekening worden gehouden met het feit dat de toplaagelementen taps toelopen: de open ruimte aan de bovenzijde van de toplaag is kleiner, dus geeft voor toplaaginstabiliteit een conservatieve benadering van de werkelijke rekenwaarde.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel A.3 zijn conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing (minima voor toplaaginstabiliteit, maxima voor materiaaltransport).

In het algemeen wordt bij de toetsing op toplaaginstabiliteit van onregelmatige toplaagelementen gewerkt met een open-ruimtepercentage dat op 1 procentpunt nauwkeurig is afgerond. De spleetbreedte bij blokken wordt op 1 mm nauwkeurig afgerond. Bij zeer kleine spleetbreedtes (orde 1 mm) is de invloed van kleine afwijkingen weliswaar groot, maar het is niet haalbaar de spleetbreedte nauwkeuriger te bepalen. Opgemerkt wordt dat de rekenmethodes geldig zijn tot aan een bovengrens voor het open-ruimtepercentage van ongeveer 15%.

A.3.4 Inwassing en stopwerk

Rol

Het inwasmateriaal of stopwerk 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 1.1.3 kan alleen de negatieve invloed met ANAMOS worden berekend. Daarom wordt normaal gesproken gerekend alsof er geen inwasmateriaal is.

Voor de eenvoudige toetsing op toplaaginstabiliteit is de aan- of afwezigheid van inwassing of stopwerk rechtstreeks van belang: de te gebruiken toetsgrafiek wordt er mede door bepaald.

In de eerste plaats wordt bij een goed ingeklemde constructie, bijvoorbeeld als gevolg van inwassing of stopwerk, voor de toplaagdikte uitgegaan van het gemiddelde van de metingen per meetlocatie in plaats van het minimum. De klemming zorgt ervoor dat niet zomaar een individueel blok uit de zetting omhoog wordt gedrukt, maar dat de bekleding over een groter oppervlak wordt opgelicht. Verwezen wordt naar A.3.1.

In de analytische methode voor toplaaginstabiliteit (gedetailleerde toetsing) zou in principe rekening kunnen worden gehouden met beide effecten van inwassing of stopwerk, door de klemfactor aan te passen en de open ruimte te verkleinen. Omdat de klemfactor nog niet voldoende is onderbouwd, wordt normaal gesproken uitgegaan van een constructie zonder de effecten van inwassing of stopwerk: noch de extra wrijving/klemming, noch het negatieve effect op de toplaagdoorlatendheid worden in berekening betrokken.
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.

Wijze van bepaling

niveau 2
Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing moet worden bepaald of de toplaag al dan niet goed ingeklemd en ingewassen/gestopt is. In de praktijk wordt dit op zeer pragmatische wijze gedaan. Op de dijk wordt visueel nagegaan of de open ruimte goed gevuld is met inwasmateriaal of stopwerk. De korrelgrootte van het inwasmateriaal is vanzelfsprekend kleiner dan de spleten tussen de toplaagelementen, maar moet niet te veel kleiner zijn. Het moet in ieder geval grover zijn dan zand (orde 2 mm). Verder wordt nagegaan of de toplaagelementen met de voet kunnen worden bewogen.

niveau 5
In de geavanceerde toetsing spelen wrijving en klemming vaak een belangrijke rol. De extra stabiliteit als gevolg van de aanwezigheid van inwasmateriaal/stopwerk kan worden gemeten met trekproeven.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing is alleen de kwalitatieve vraag van belang, of de toplaag al dan niet goed ingeklemd en ingewassen/gestopt is. Omdat niet expliciet rekening wordt gehouden met de eigenschappen van het inwasmateriaal/stopwerk, zijn representativiteit en nauwkeurigheid niet van belang.

A.3.5 Inklemming

Rol
Het kan voor de toetsing van belang zijn of een bestaande constructie al dan niet goed is ingeklemd: dit kan bepalend zijn voor de rekenwaarde van de toplaagdikte (zie A.3.1) en voor de toepasbaarheid van de rekenregels voor de reststerkte van toplaag + granulaire laag (beoordelingsspoor erosie van de onderlagen).
Ook kan in het rekenprogramma ANAMOS een klemfactor worden ingevoerd, zie A.3.8.

Wijze van bepaling

niveau 2
Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing moet worden bepaald of de toplaag goed ingeklemd is of niet. Vaak is de aanwezigheid van inwasmateriaal een goede indicatie, zie A.3.4. Zoals daar beschreven wordt dit in de praktijk op pragmatische wijze gecontroleerd.

A.3.6 Inzanding/inslibbing van de toplaag

Rol
De aan- of afwezigheid van slib in de open ruimte tussen de toplaagelementen is direct van belang voor de eenvoudige toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval: daardoor wordt mede bepaald welke toetsgrafiek moet worden gebruikt.

Wijze van bepaling

niveau 2
Voor de eenvoudige toetsing moet worden bepaald of de toplaag al dan niet ingeslibd is. Op de dijk wordt visueel nagegaan of de open ruimte gevuld is met slib. Het ingeslibde materiaal heeft een korrelgrootte kleiner dan 1 mm.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing is alleen de kwalitatieve vraag van belang, of de toplaag dichtgeslibd is of niet. Er wordt niet expliciet rekening gehouden met de eigenschappen van de inslibbing: representativiteit en nauwkeurigheid zijn niet van belang.

A.3.7 Ingieting van de toplaag

Zoals besproken in 5.4 worden 'vol en zat' gepenetreerde (ingegoten) steenzettingen getoetst op afschuiving, materiaaltransport en oplichten van de toplaag, terwijl oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzettingen én ingegoten steenzettingen in slechte staat daarnaast op toplaaginstabiliteit worden getoetst. Voor de toetsing zijn twee punten van belang: de mate van penetratie (tot meer of minder dan de helft van de toplaag) en de staat van de penetratie. Verdergaande informatie, zoals materiaalparameters van de ingieting of de invloed op de doorlatendheid, zijn normaal gesproken niet nodig, maar wellicht wel voor geavanceerde toetsing.

Rol

De mate van penetratie (vol en zat of oppervlakkig) én de kwaliteit van de penetratie bepalen of een gepenetreerde steenzetting al dan niet moet worden getoetst op toplaaginstabiliteit.

Wijze van bepaling

niveau 1
Uit besteksgegevens of beheersinformatie kan volgen dat een steenzetting slechts is overgoten. In dat geval is duidelijk dat de gepenetreerde bekleding ook op toplaaginstabiliteit moet worden getoetst.

niveau 2
Een steenzetting mag alleen als 'vol en zat gepenetreerd/ingegoten' worden getoetst als er goede aanhechting is tussen toplaagelementen en penetratiemateriaal. Vooral bij betonpenetratie is dit van belang. Als uit oppervlakkige visuele controle al blijkt dat de aanhechting niet goed is, kan worden aangenomen dat sprake is van een oppervlakkig gepenetreerde steenzetting en moet worden getoetst op toplaaginstabiliteit. Andersom kan niet uit oppervlakkige visuele controle worden afgeleid dat de aanhechting goed is.

niveau 3
Heeft een constructie op het oog een goede aanhechting, dan moet nog bepaald worden of de steenzetting oppervlakkig, of 'vol en zat' gepenetreerd is. Dit is alleen mogelijk door de bekleding open te breken. Bij een gepenetreerde bekleding is dit moeilijker uitvoerbaar. Als geen gegevens beschikbaar zijn zal vaak de conservatieve aanname worden gedaan dat de steenzetting niet 'vol en zat', maar slechts oppervlakkig gepenetreerd is.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
Voor de eenvoudige toetsing is alleen de kwalitatieve vraag van belang, of de toplaag al dan niet vol en zat gepenetreerd is met een goede hechting. Omdat normaal gesproken niet expliciet rekening wordt gehouden met kwantitatieve eigenschappen van de penetratie, zijn representativiteit en nauwkeurigheid niet van belang.

A.3.8 Klemfactor toplaagelementen

Rol
Deze factor kan in de meest recente versies van het rekenprogramma ANAMOS worden ingevoerd, maar de kennis hierover is nog niet zodanig uitgekristalliseerd dat de parameter kan worden gebruikt. Op dit moment moet de waarde 1 worden ingevuld.

A.4 GRANULAIRE LAAG STEENZETTINGEN

Bekledingsconstructies bevatten in sommige gevallen twee of zelfs meer granulaire lagen. Tenzij apart vermeld is de informatie in deze paragraaf geldig voor elk van de granulaire lagen in de bekledingsconstructie.

A.4.1 Dikte granulaire laag

Rol
De dikte van de granulaire laag speelt een rol in de volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: in eenvoudige toetsing alleen voor de bepaling van het type, vanaf gedetailleerde toetsing expliciet;
- afschuiving: gedetailleerd.

Hoe dikker de granulaire laag, hoe groter de kans op toplaaginstabiliteit, maar hoe kleiner de kans op afschuiving.

Wijze van bepaling

niveau 1
Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld revisiegegevens of metingen uit een vorige toetsingsronde), omdat de laagdikte niet of nauwelijks verandert. Besteksgegevens zijn niet goed bruikbaar voor de toetsing.

niveau 2
Een recente ontwikkeling is dat op niet-destructieve wijze de dikte van de granulaire laag kan worden bepaald met behulp van grondradar (zie ook A.3.1). Voorlopige resultaten wijzen uit dat de laagdikte met grondradar kan worden bepaald met een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Aangezien de dikte van de granulaire laag sterk kan variëren, zonder dat dat zichtbaar is vanaf de oppervlakte, is grondradar voor deze parameter een relatief geschikte methode. Ingeschat wordt dat grondradar een beter beeld kan geven van de dikte van de granulaire laag tussen de breeklocaties, en kan leiden tot verkleining van het aantal breeklocaties. In geval van meerdere granulaire lagen is de overgang tussen verschillende lagen waarschijnlijk niet goed zichtbaar, zodat alleen de totale laagdikte kan worden bepaald. Verwezen wordt naar [lit.9].

niveau 3
Als de beschikbare gegevens niet voldoen, moet de bekleding worden opengebroken; dit wordt in de praktijk meestal gecombineerd met de bepaling van de toplaagdikte (zie A.3.1). Specifiek voor de dikte van de granulaire laag is het belangrijk aparte meetpunten

Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet voor de toetsing op toplaaginstabiliteit worden gerekend met de grootste representatieve waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden, maar voor de toetsing op afschuiving juist met de kleinste.

te hebben onderin en bovenin het talud: in de praktijk is daartussen vaak een aanzienlijk verschil. Op elke breeklocatie wordt één waarde van de laagdikte gemeten.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Meetresultaten van de laagdikte ter plaatse van breeklocaties kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten, in relatie tot de vakindeling (zie 3.3). De verticale vakindeling is speciaal van belang voor deze parameter, omdat de laagdikte vaak sterk varieert.

A.4.2 Korrelgrootteverdeling granulaire laag

Rol

De korrelgrootteverdeling van de granulaire laag speelt een rol in de volgende toetsingen:

- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: in de eenvoudige toetsing is in sommige gevallen de karakteristieke korreldiameter D_{15} van belang voor de vaststelling van het constructietype. In de gedetailleerde toetsing wordt expliciet rekening gehouden met de waterdoorlatendheid van de granulaire laag; de karakteristieke korreldiameter D_{15} is daarvoor bepalend, samen met de porositeit (zie A.4.3). Grotere waarden voor D_{15} leiden tot een grotere kans op toplaaginstabiliteit;
- materiaaltransport vanuit de ondergrond: gedetailleerd; als de granulaire laag een filterfunctie heeft is de karakteristieke korreldiameter D_{15} van belang in de gedetailleerde toetsing; daarbij geldt: hoe kleiner D_{15} hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

niveau 1

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde of revisiegegevens), omdat de korrelgrootteverdeling niet of nauwelijks verandert. Alleen bij transport van materiaal door de toplaag heen naar buiten kan de samenstelling veranderen; in dat geval mogen alleen zeer recente meetresultaten worden gebruikt. Overigens moet in dat geval een score 'onvoldoende' worden gegeven op materiaaltransport vanuit de granulaire laag. Besteksgegevens zijn niet goed bruikbaar voor de toetsing.

niveau 2

Grondradar kan mogelijk in bepaalde omstandigheden worden gebruikt om na te gaan of zich tussen breeklocaties scherpe overgangen in de doorlatendheid van de granulaire laag bevinden (zie ook A.3.1 en [lit.9]).

niveau 3

Als de beschikbare gegevens niet voldoen, moet de bekleding worden opengebroken; dit wordt in de praktijk meestal gecombineerd met de bepaling van de toplaagdikte (zie A.3.1). Een praktische manier om een goede indruk te krijgen van de korrelverdeling is: per breeklocatie orde tien korrels opmeten. Daarbij moeten tien relatief kleine korrels worden gekozen. De kleinste gemeten diameter is een goede indicatie van de karakteristieke korreldiameter D_{15}. Bij deze wijze van bepaling moet goed worden opgelet dat alleen korrels worden gemeten die deel uitmaken van de granulaire laag: bij het openbreken van de toplaag kan het inwasmateriaal in de granulaire laag terechtkomen.

niveau 4
De bovenstaande praktische werkwijze kan worden geverifieerd door op enkele breeklocaties een groot monster te nemen (orde 5 kg) en daarop een volledige korrelverdelingsanalyse uit te voeren in een laboratorium.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De gemeten waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten, in relatie tot de vakindeling (zie 3.3). Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet voor de toetsing worden gerekend met de grootste representatieve waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden.

In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een korreldiameter D_{15} die op 1 mm nauwkeurig is afgerond.

A.4.3 Porositeit granulaire laag

Rol

De porositeit van de granulaire laag speelt een rol in de volgende toetsingen:
- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: in de gedetailleerde toetsing wordt expliciet rekening gehouden met de waterdoorlatendheid van de granulaire laag; de porositeit is daarvoor bepalend, samen met de karakteristieke korreldiameter D_{15} (zie A.4.2). Grotere waarden voor n leiden tot een grotere kans op toplaaginstabiliteit.
- afschuiving: gedetailleerd.

Wijze van bepaling

niveau 1
De porositeit wordt niet in het veld bepaald, maar bij de toetsing wordt gewerkt met de conservatieve standaardwaarden uit tabel A.4.

materiaalsoort	porositeit [-]
puin	0,40
steenslag	0,35
gesorteerde mijnsteen	0,30
ongesorteerde mijnsteen	0,20

Tabel A.4
Standaardwaarden porositeit van de granulaire laag

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel A.4 zijn bedoeld als conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing.

A.4.4 Inzanding/inslibbing van de granulaire laag

Rol

Toplaaginstabiliteit onder golfaanval: de aan- of afwezigheid van slib in de granulaire laag is rechtstreeks van belang voor de eenvoudige toetsing: om het gunstige effect op de doorlatendheid te verwerken wordt voor alle typen (voor zover ze een granulaire laag bevatten) de grens tussen de scores 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' zodanig verlegd dat grensgevallen een tussenscore 'twijfelachtig' krijgen. Vervolgens wordt in de geavanceerde toetsing expliciet rekening gehouden met de invloed van inslibbing. Bij de eenvoudige toetsing kan van de ingezande of ingeslibde situatie worden uitgegaan als dit in het veld wordt geconstateerd. Bij geavanceerde toetsing moet worden aangetoond dat de inzanding of inslibbing ook onder maatgevende omstandigheden aanwezig is.

Wijze van bepaling

niveau 2
Voor de eenvoudige toetsing moet worden bepaald of de granulaire laag al dan niet ingeslibd is. Op eenvoudig niveau is een afdoende indicatie voor een dichtgeslibd filter dat overal op het talud na hoog water of een regenbui het water enkele uren in de open ruimte van de toplaag blijft staan.

niveau 3
Om het effect expliciet in de toetsing te kunnen verwerken moet de bekleding worden opengebroken en moet een infiltratietest worden uitgevoerd. De porositeit n kan in het veld worden bepaald door metingen van de doorlatendheid k, in combinatie met de korrelgrootte D_{15}. De doorlatendheid k wordt uitgedrukt in mm/s, en kan worden benaderd door de zaksnelheid van water. De zaksnelheid kan worden bepaald door een hoeveelheid water tussen dichte wanden op de granulaire laag 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. Als de doorlatendheid k kleiner is dan 1 mm/s, kan in de toetsing worden uitgegaan van de dichtgeslibd filter.

Het is verstandig bij twijfel aan te nemen dat de granulaire laag is dichtgeslibd.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
Het enige effect op de toetsing is dat een steenzetting in de eenvoudige toetsing niet te snel een score 'onvoldoende' haalt.

A.5 GEOKUNSTSTOF

Rol
Materiaaltransport vanuit de ondergrond: voor de eenvoudige toetsing is alleen de karakteristieke maaswijdte O_{90} van belang. Een grote openingsgrootte is ongunstig. Voor de gedetailleerde toetsing zijn daarnaast gegevens nodig over de doorlatendheid.

Wijze van bepaling

niveau 1
In eerste instantie wordt de karakteristieke openingsgrootte O_{90} altijd afgeleid uit besteks- of revisiegegevens. Overigens staat voor de parameter O_{90} in het bestek vaak een bovengrens, dus niet de werkelijk te leveren waarde; deze grenswaarde kan eventueel als conservatieve waarde worden gebruikt in de toetsing.

niveau 3 en 4
Eventueel kunnen in geval van twijfel monsters worden genomen, gecombineerd met het openbreken van de bekleding ter bepaling van de toplaagdikte (zie A.3.1), waarvan met laboratoriumproeven de waarde van O_{90} kan worden bepaald.

In de praktijk wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met waarden voor O_{90} die zijn afgerond op 10 µm.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De bestekswaarden of de resultaten van laboratoriumproeven worden rechtstreeks gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren.

A.6 VLIJLAAG

Rol

Materiaaltransport vanuit de ondergrond: als een vlijlaag van minimaal twee lagen baksteen in goede staat op de ondergrond ligt, kan een score 'goed' worden gegeven voor materiaaltransport vanuit de ondergrond.

Wijze van bepaling

niveau 1
De aanwezigheid van een vlijlaag kan worden afgeleid uit besteksgegevens, maar daaruit volgt natuurlijk geen informatie over de staat. Die kan wellicht wel volgen uit oude meetgegevens in het archief.

niveau 3
Aanwezigheid, staat en aantal lagen kunnen worden bepaald door openbreken bekleding.

A.7 BASISMATERIAAL STEENZETTINGEN

A.7.1 Dikte cohesieve laag

Rol

De dikte van de cohesieve laag speelt een rol in de volgende toetsingen:
- afschuiving: gedetailleerd;
- erosie van de onderlagen: gedetailleerd.

Wijze van bepaling

niveau 1
In besteks- en revisietekeningen kan meestal een laagdikte worden gevonden voor de cohesieve laag, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig. Toetsing op basis van bestekswaarden van het basismateriaal wordt daarom afgeraden. In de meeste gevallen zal het nodig zijn om boringen te verrichten (niveau 3).

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De laagdikte kan in de praktijk sterk per plaats variëren; bij de toetsing van steenzettingen wordt daarom vaak uitgegaan van de kleinste gemeten dikte, afgerond op 0,1 m.

A.7.2 Korrelgrootteverdeling cohesieve laag

Rol

Materiaaltransport vanuit de ondergrond: in de gedetailleerde toetsing zijn de karakteristieke korreldiameters D_{50} en D_{90} van belang. Hoe groter de diameters, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

niveau 1
In besteks- en revisietekeningen kunnen wellicht soms gegevens worden gevonden over de samenstelling van de cohesieve laag, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig.

niveau 3 en 4
Als gedetailleerde toetsing op materiaaltransport nodig is, zullen de karakteristieke korreldiameters moeten worden bepaald door laboratoriumonderzoek van boringen.

Toetsing op basis van bestekswaarden van het basismateriaal wordt afgeraden.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt in de toetsing.

A.7.3 Erosiebestendigheid van de klei

Rol
Erosie van de onderlagen: de erosiebestendigheid van de klei, uitgedrukt in de categorieën 'goed'/'erosiebestendig' (c1), 'matig erosiebestendig' (c2) en 'weinig erosiebestendig' (c3), speelt een rol in de gedetailleerde toetsing.

De erosiebestendigheidscategorie volgt uit de plasticiteitsindex I_p, de vloeigrens W_l het zandgehalte Z_k en het kalkgehalte.
Voor de categorie 'goed' moet worden voldaan aan elk van de volgende vier eisen:
- $W_l > 45\%$;
- $I_p > 0{,}73 \cdot (W_l - 20)\%$;
- $Z_k < 40\%$;
- kalkgehalte < 25%.

Voor de categorie 'matig' hoeft de vloeigrens W_l niet kleiner dan 45% te zijn, maar moet wel voldaan aan elk van de volgende drie eisen:
- $I_p > 18\%$;
- $Z_k < 40\%$;
- kalkgehalte < 25%.

In alle andere gevallen moet de categorie 'weinig erosiebestendig' worden aangehouden.

Wijze van bepaling

niveau 1
Archiefgegevens zijn alleen betrouwbaar voor deze parameter als de proeven tamelijk recent zijn uitgevoerd (bijvoorbeeld minder dan vijf jaar geleden). Overigens moet dit per geval worden bekeken.

niveau 3 en 4
Als toetsing op erosie van de onderlagen nodig is, zal de erosiebestendigheidscategorie moeten worden bepaald met laboratoriumonderzoek op boringen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De in het laboratorium vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de vaststelling van de erosiecategorie.

A.7.4 Korrelgrootteverdeling zandkern

Rol
- afschuiving: de karakteristieke korreldiameter D_{15} speelt een rol in de gedetailleerde toetsing: hoe grover hoe gunstiger;

- materiaaltransport: als de ondergrond van de steenzetting uit zand bestaat, zijn in de gedetailleerde toetsing de karakteristieke korreldiameters D_{50} en D_{90} van belang. Hoe groter de diameters, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

niveau 1
In besteks- en revisietekeningen kunnen wellicht soms gegevens worden gevonden over de samenstelling van de zandkern, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig. Toetsing op basis van bestekswaarden van het basismateriaal wordt daarom afgeraden.

niveau 3 en 4
Als gedetailleerde toetsing op materiaaltransport nodig is, zullen de karakteristieke korreldiameters moeten worden bepaald met laboratoriumonderzoek op boringen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt in de toetsing.

A.8 NOORSE STENEN EN BREUKSTEENOVERLAGING

A.8.1 Steendiameter

Definitie
In de rekenregels wordt voor de steendiameter van Noorse stenen en breuksteenoverlaging de parameter D_n gebruikt: de diameter van de denkbeeldige kubus die dezelfde massa M en dichtheid ρ heeft als het beschouwde element. De definitie is: $D_n = (M/\rho)^{1/3}$.

Rol
De steendiameter D_{n50} speelt een directe rol in de rekenregels volgens de methode Van der Meer in de gedetailleerde toetsing van Noorse stenen en breuksteenoverlagingen. Daarnaast wordt de toepasbaarheid van de gedetailleerde regel voor Noorse stenen getoetst met de verhouding tussen D_{n10} en D_{n85}.

In de rekenregels komen verschillende karakteristieke steendiameters voor: D_{n10}, D_{n50} en D_{n85}. Dit zijn de diameters die horen bij steenmassa's met onderschrijdingsfrequenties van 10% (M_{10}), 50% (M_{50}) en 85% (M_{85}).

Wijze van bepaling
Voor de bepaling van de karakteristieke waarden D_{nx} die nodig zijn in de rekenregels, moet feitelijk de massa van een voldoende aantal elementen worden bepaald, deze moet worden gedeeld door de dichtheid en uit het resultaat moet de derde-machtswortel worden getrokken. In de praktijk is het veel makkelijker om de steendiameter rechtstreeks te meten en daarvan de verdeling te bepalen. Het is belangrijk om te beseffen dat de verdeling van de direct gemeten diameter anders is dan de in te vullen rekenwaarde D_{nx}. De verhouding tussen D_{nx} en D_x hangt af van de vorm van de stenen; meestal wordt de volgende relatie gebruikt: $D_{nx} = 0{,}84 \cdot D_x$.

niveau 1
Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat Noorse stenen en breuksteenelementen niet of nauwelijks slijten. Breuksteenoverlagingen zijn meestal zo recent aangelegd dat er waarschijnlijk betrouwbare revisiegegevens zijn. Vaak zal uit deze

bronnen direct informatie over de verdeling bekend zijn, waaruit direct D_{nx}-waarden kunnen worden afgeleid. Bekledingen van Noorse stenen zijn daarentegen zo oud dat waarschijnlijk geen ontwerpinformatie beschikbaar is; hiervoor zal vaak wel de vertaalslag van D_x- naar D_{nx}-waarden nodig zijn.

niveau 2
Bij Noorse stenen en bij breuksteenoverlagingen is het goed mogelijk om een indicatie van de steendiameter te verkrijgen in het veld. In dat geval is nog wel de vertaalslag van D_x- naar D_{nx}-waarden nodig.

niveau 3
Als de eerste twee niveaus niet voldoen, moeten elemeten uit de toplaag worden gehaald om de verdeling te bepalen.

Bij brede stroken (verticaal gezien) is het verstandig de onderste en bovenste helft apart te behandelen.

In het algemeen wordt bij de toetsing gewerkt met een diameter die op 1 cm nauwkeurig is afgerond.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid
De meetlocaties moeten zodanig worden gekozen dat er een goed beeld ontstaat van de spreiding van de dikte, voor elk bekledingsvak; de meetdichtheid wordt dus bepaald door een inschatting van de variatie binnen elk vak. Bij breuksteenoverlagingen zijn in het algemeen de ontwerpvakken bekend. Voor zo'n vak gelden dezelfde richtwaarden als voor tamelijk uniforme vakken met steenzettingen: één meetpunt per 100 à 200 strekkende meter, met een minimum van drie en een maximum van zeven meetpunten per bekledingsvak. Voor Noorse stenen moet de variatie in het veld worden bekeken; bij grote variatie moet minimaal één meetpunt per 100 strekkende meter worden aangehouden.

A.8.2 Permeabiliteit

Definitie
In de rekenregels volgens Van der Meer wordt voor de doorlatendheid van de constructie onder de toplaag van breuksteen of Noorse stenen 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 in de gedetailleerde toetsing van Noorse stenen en 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 en Noorse stenen is nagegaan op welke van de standaard-constructietypen deze bekledingstypen het meest lijken.

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

De standaardwaarde voor breuksteenoverlagingen is 0,1: de steenzetting onder de toplaag van breuksteen is zeer ondoorlatend. Voor Noorse stenen kan worden gewerkt met een waarde van 0,2, mits onder de Noorse stenen een dikke laag van grof puin ligt. 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.

Bijlage B Het gebruik van ANAMOS

B.1 OPZET EN HUIDIGE TOEPASSING ANAMOS

blz 77, 4.2

Het computerprogramma ANAMOS bevat het gehele rekenproces van een steenzetting volgens de analytische methode zoals beschreven in ~~7.1~~. 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:
- toplaaginstabiliteit 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 praktijk wordt ANAMOS vooral gebruikt voor ontwerp en toetsing op toplaag-instabiliteit 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 verwezen naar ANAMOS. Het derde aspect (de kracht op de teenconstructie) wordt in de praktijk nauwelijks gebruikt en daarom niet verder behandeld.

B.2 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL

Met betrekking tot toplaaginstabiliteit 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_s 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 toplaaginstabiliteit 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 B.4.

B.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 belastingsituatie. 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.

B.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 A.

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 begrenzingen vermeld. De verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage A.

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 A.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 A.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 6.1. 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 A.1.7. 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 sw [kg/m^3]**
In dit technisch rapport wordt deze parameter de dichtheid ρ_w genoemd, zie A.1.10. In te vullen waarden: 1000 kg/m^3 = zoet water, 1025 kg/m^3 = zout water.

2 Talud

2a **Helling (bij 1:x geldt cotα = x) cot [-]**
Hier moet de ontwerp- of toetswaarde voor de helling van het bekledingsvak worden ingevuld, zie A.2.1. Grenzen: 2,5 tot 6,0.

2b **Wrijvingscoëfficiënt toplaag/ondergrond f_t [-]**
Hier moet standaard de waarde 0,5 worden ingevuld.

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 A.3.4.

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'. Doorgroeistenen ('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 A.3.3.

3b.2 Lengte (evenwijdig dijkas) L [m]
Zie 3b.1 en A.3.3.

3b.3 Dikte D [m]
Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde van de toplaagdikte (toplaag-elementhoogte) ingevuld, zie A.3.1. Grenzen: 0,02 tot 0,7 m.

3b.4 Spleetbreedte s [mm]
Zie 3b.1 en A.3.3. Grenzen: van 0,5 mm tot 30 mm.

3b.5 Soortelijke massa sm [kg/m^3]
Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde voor de dichtheid ρ van de toplaagelementen ingevuld, zie A.3.2. Grenzen: 2000 tot 3000 kg/m^3.

3b.6 Klemfactor G [-]
Hier wordt normaal gesproken standaard de waarde 1,0 ingevuld, zie A.3.8.

Voor zuilen:

3b.7 Gemiddeld zuiloppervlak A [m^2]
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 m^2 ingevuld.

3b.8 Relatief open oppervlak A_o [%]
Hier moet de ontwerp- of toetswaarde worden ingevuld, zie A.3.3. Grenzen: 1 tot 20%.

3b.9 Dikte D [m]
Zelfde als bij blokken, zie 3b.3.

3b.10 Soortelijke massa sm [kg/m^3]
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 A.4.1.
Grenzen: 0,05 tot 5,00 m.

3e.2 Karakteristieke korreldiameter D_{15} [mm]
Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie A.4.2.
Grenzen: 0,5 tot 300 mm.

3e.3 Porositeit n [-]
Hier wordt de ontwerpwaarde ingevuld, zie A.4.3. 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 machtrelatie, zie Achtergronden, hoofdstuk 3.

3f.2 Dikte van het geotextiel T_g [mm]
Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie A.5.
Grenzen: 0,2 tot 10 mm.

3f.3 Karakteristieke openingengrootte O_{90} [mm]
Hier wordt de ontwerpwaarde ingevuld, zie A.5.
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 A.7.2.
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 A.7.2.
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.

Bijlage C Rekenprocedure steenzetting op/boven berm

De toetsing van bermen wordt behandeld in 4.2.4. Voor de toetsing 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. Het rekenwerk kan uiteraard worden gestopt als voor een bepaalde waterstand een score 'onvoldoende' is bereikt. 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 toetsingsberekeningen.

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) Toetspeil 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 te beginnen met het doorlopen van de procedure; de slechtste score telt immers. 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 Toetspeil, is de situatie bij Toetspeil per definitie de ongunstigste situatie. In dat geval hoeven de vervolgstappen alleen voor die waterstand te worden doorlopen.

Stap 2 tot en met 5 moeten worden doorlopen voor alle relevante waterstanden binnen de range zoals bepaald in stap 1, totdat een score 'onvoldoende' is bereikt of 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. De golfparameters volgen uit aangeleverde tabellen of de Hydra-programma's, zie bijlage A.1.

Stap 3 bepaling van de rekenwaarde van de taludhelling

De rekenwaarde van de taludhelling voor de toetsing 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 Toetspeil.
- 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 – bermniveau en Q = 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: $\cot\alpha_{fict} = (P \bullet a + Q \bullet b) / (P + Q)$.

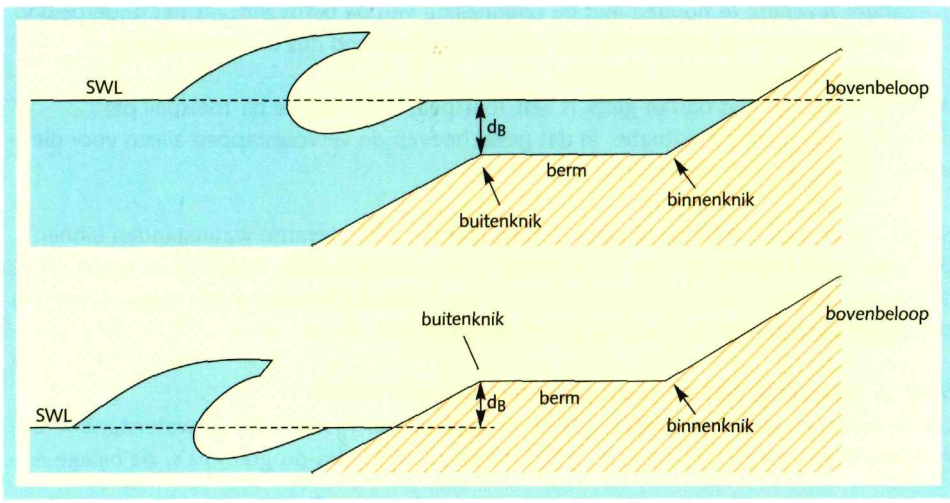
Stap 4 bepaling van de bermfactor

De grafieken voor de bepaling van de bermfactor staan in de Figuren C.2 en C.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 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.

De procedure van stap 4 is als volgt:
Kies de juiste figuur voor het bepalen van de bermfactor
Bepaal de bermfactor die hoort bij de waterstand X en de bijbehorende golfhoogte $H_{s,X}$.



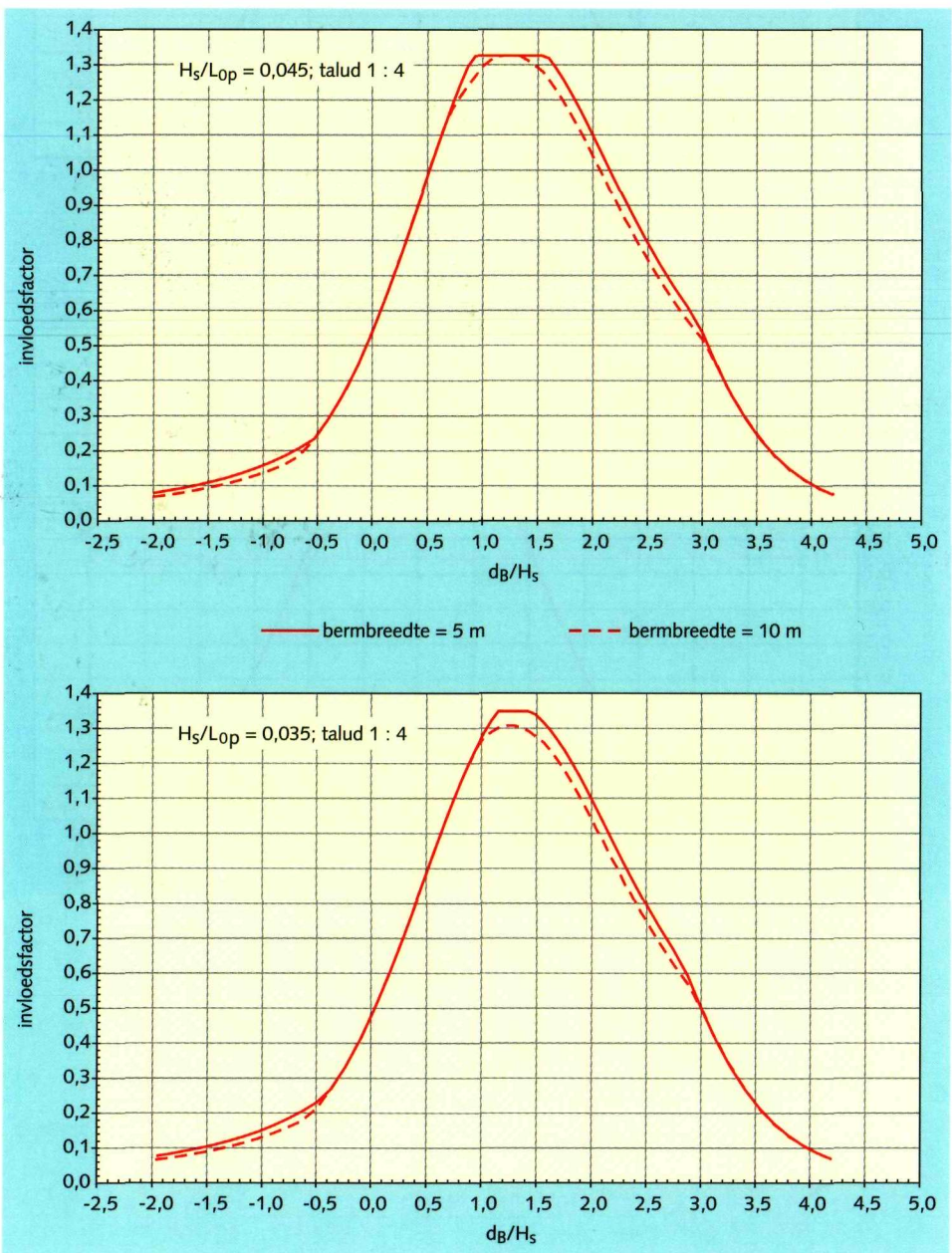
Figuur C.1
Definitie waterdiepte d_B voor bepaling bermfactor

Stap 5 toetsingsberekeningen

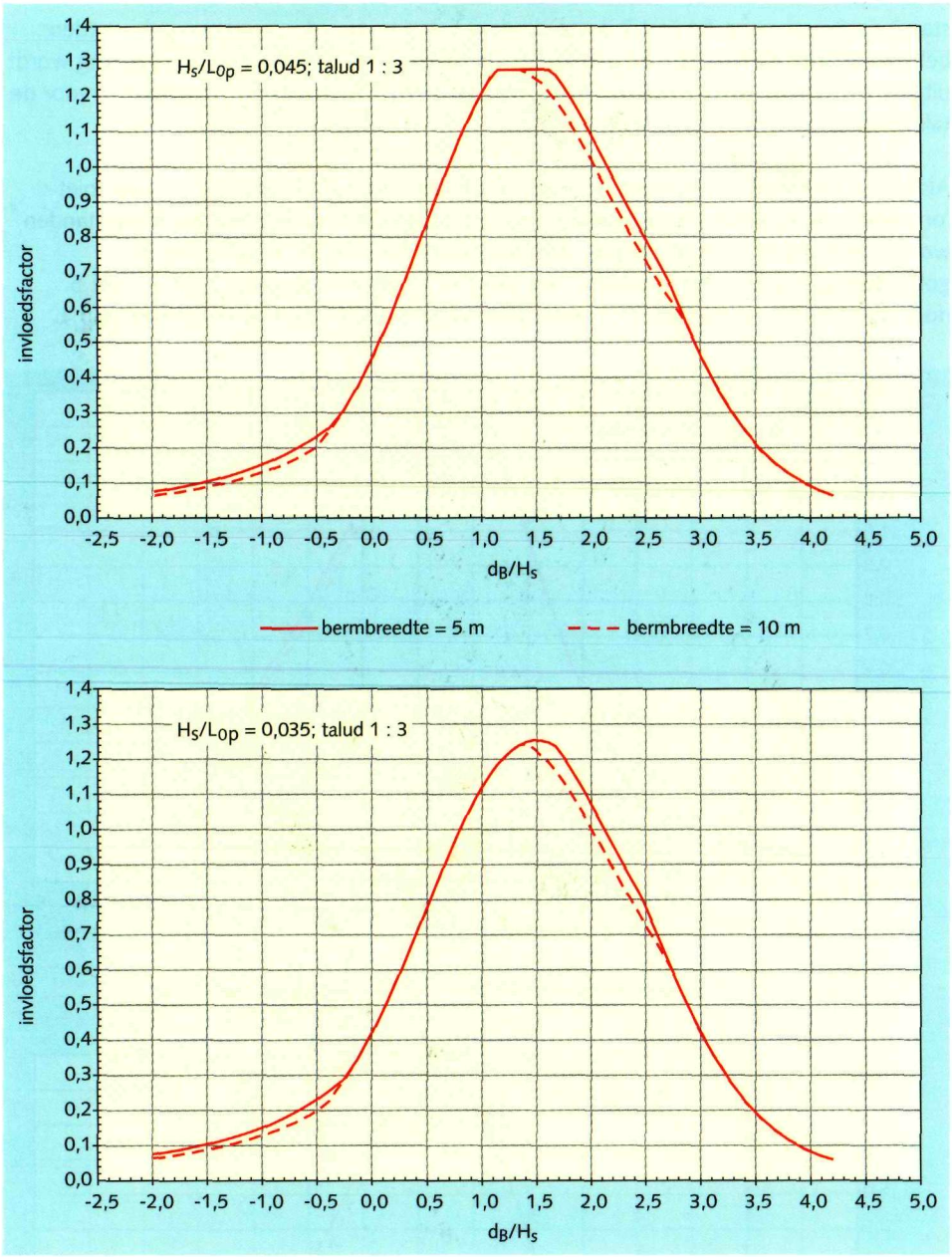
In deze stap wordt de toetsing uitgevoerd voor het op de berm of bovenbeloop aanwezige bekledingstype, waarbij moet worden gerekend met de aanwezige toplaagdikte, gedeeld door de bermfactor uit stap 4 van deze bijlage. Voor de toetsregels wordt verwezen naar

stap 2 en 3 van zone A1 in 4.2.2 van dit deel Toetsing, waarin de rekenregels worden behandeld voor eenvoudige en gedetailleerde toetsing op golfbelasting. De toetsing wordt uitgevoerd met de golfparameters zoals bepaald in stap 2 en met de rekenwaarde voor de taludhelling uit stap 3.

Als hieruit een score 'onvoldoende' volgt, is dat tevens de eindscore. Als de score niet 'onvoldoende' is, moet uit de resultaten van de tot dan toe doorgerekende waterstanden worden afgeleid of de ongunstigste combinatie van bermfactor, taludhelling en golfbelasting al gevonden is. Als dat niet zeker is, moeten de stappen 2 tot en met 5 nogmaals worden doorlopen voor een andere waterstand binnen de range van stap 1.



Figuur C.2
Bermfactor voor taludhelling onder de berm 1:4



Figuur C.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}	korreldiameter van granulair mareriaal 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}	korreldiameter 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 ($D_{nx} = (M_x/\rho)^{1/3}$)	m
$D_{uitsteeksel}$	dikte uitsteeksel ruwheidselement	m
$F\phi$	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
$i_\uparrow$	opwaarts verhang	-
$i_\downarrow$	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_{0p}	golflengte 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	-
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/m³
T_g	laagdikte van het geokunststof	m
T_i	golfperiode secundaire golven	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 t.o.v. 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
$z_{2\%}$	golfoploopniveau 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
	leklengte	*m*
φ_b	hoek van inwendige wrijving van ondergrond	°
ψ	permittiviteit	s^{-1}
ρ_s	dichtheid van breuksteen	kg/m³
ρ_t	dichtheid van de toplaag	kg/m³
ρ_{te}	dichtheid van de toplaagelementen	kg/m³
ρ_w	dichtheid van water	kg/m³
ξ_{0p}	brekerparameter op basis van de golflengte L_{0p}	-
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
ZAF	beoordelingsspoor Afschuiving voor steenzettingen (Zetsteen)	-
ZEO	beoordelingsspoor Erosie van de onderlagen voor steenzettingen (Zetsteen)	-
ZMG	beoordelingsspoor Materiaaltransport vanuit de granulaire laag voor steenzettingen (Zetsteen)	-
ZMO	beoordelingsspoor Materiaaltransport vanuit de onderlaag voor steenzettingen (Zetsteen)	-
ZOB	beoordelingsspoor Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie voor zetsteen	-
ZOI	beoordelingsschema Invloed overgang op toplaaginstabiliteit voor zetsteen	-
ZTG	beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder golfaanval voor steenzettingen (Zetsteen)	-
ZTS	beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder langsstroming voor steenzettingen (Zetsteen)	-

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 dijkkern te beschermen tegen erosie door de waterbeweging, bestaande uit een toplaag met daaronder (eventueel) uitvul-, filter- en kleilagen.
belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
benedenbeloop	Deel van het talud tussen teen en buitenberm.
beoordelingsniveau	Moeilijkheidsniveau van een toetsingsstap ten aanzien van rekenregels of gegevensinwinning.
beoordelingsschema	Opeenvolging van stappen waarmee voor een beoordelingsspoor het toetsingsresultaat kan worden bepaald.
beoordelingsspoor	Eén van de aspecten aan de hand waarvan de toetsing op veiligheid van de waterkering wordt uitgevoerd.
bermfactor	Factor bepaald door golfhoogte en waterdiepte boven de berm, benodigd voor ontwerp en toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op een buitenberm.
betonblok	Blokvormig toplaagelement van beton.
betonpuin	Restproduct dat wordt gebruikt als granulair materiaal.
betonzuil	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.

TERM	OMSCHRIJVING
blokkenmat	Geprefabriceerde toplaagelementen die onderling door kabels of een geokunststof zijn verbonden tot een mat.
bovenbeloop	Deel van het talud tussen buitenberm en kruin.
boventafel	Bovenste gedeelte van de taludbekleding (boven Gemiddeld Hoogwater of boven een overgangsconstructie).
brekerparameter	Verhouding tussen de taludhelling en de (wortel uit) de golfsteilheid, die een indicatie is voor de wijze waarop golven op het talud breken.
breuksteenoverlaging	Constructie waarbij op een bestaande, te lichte steenzetting ter versterking een pakket breuksteen is aangebracht.
buitenberm	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen, om de effecten van golfoploop 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 toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Doornik, België.
ecotop	Ruw laagje op de bovenkant van toplaagelementen ter bevordering van flora en fauna.
eenvoudige toetsing	De eerste stappen in een beoordelingsschema, met relatief makkelijk toepasbare regels, uitgewerkt in het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid*.
erosie van de onderlagen	Faalmechanisme van bekledingen dat zich voordoet als de beschermende werking van de toplaag weggevallen is.
faalmechanisme	Opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.
falen	Niet meer vervullen van de primaire functie (waterkeren); 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 toplaaginstabiliteit 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 toplaag.
geavanceerde toetsing	De laatste stappen in een beoordelingsschema, waarvoor geen uitgewerkte rekenregels bestaan, uit te voeren door specialisten.
gebakken blok	Blokvormig toplaagelement van gebakken steen.
gedetailleerde toetsing	De middelste stappen in een beoordelingsschema, met rekenregels van het niveau van de ontwerpleidraden 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 gronddichtheid van een filter, waarbij materiaaltransport fysiek onmogelijk is doordat de openingen in het filter kleiner zijn dan de korrelafmetingen van het basismateriaal.
gepenetreerde steenzetting	Steenzetting waarbij tussen de toplaagelementen beton of asfalt is aangebracht om de sterkte te vergroten.
geschakelde steenzetting	Blokkenmat of interlock-elementen.
gietasfalt	Warm bereid asfalt met een mengsel van gegradeerd grind en een overmaat aan asfaltmastiek, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft.
'goed'	Resultaat van de toetsing als de waterkering op de peildatum minimaal ontwerpkwaliteit heeft: er wordt aan de ontwerpcriteria voldaan met gebruikmaking van toetsingsuitgangspunten en -randvoorwaarden.
golfhoogte	Verschil tussen het hoogste en laagste niveau van het wateroppervlak tijdens de periode tussen twee positieve nuldoorgangen van het wateroppervlak (nul = niveau van de stilwaterlijn).
golfinvalshoek	De hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering.
golfklapzone	Deel van het talud dat door golfklappen wordt belast, gelegen onder de stilwaterstand.
golfoploophoogte / -niveau	Hoogste niveau ten opzichte van de stilwaterlijn tot waar een golf het talud nat maakt.
golfoploopzone	Deel van het talud dat niet door golfklappen maar door golfoploop wordt belast, gelegen boven de 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 gegradeerd 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 golfoploop.
Hydra	Programmatuur voor het bepalen van hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.
hydraulisch dicht	Criterium voor gronddichtheid 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 samenkitten.
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 gepenetreerde steenzettingen).
inslibbing	De ophoping van slib in de toplaag en de granulaire laag, afkomstig van bijvoorbeeld het voorland (zie ook inzanding).
interlockelementen	Geprefabriceerde toplaagelementen die door hun vorm in elkaar haken, waardoor individuele elementen niet uit de zetting kunnen worden gelicht.
interne instabiliteit	Migratie van de fijne fractie van een filter door de poriën van het filter.

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.
karakteristieke waarde	Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
klemming	Bijdrage aan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit doordat naast elkaar liggende toplaagelementen onderlinge beweging onmogelijk maken.
klinker	Toplaagtype
koperslakblok	Blokvormig toplaagelement, gemaakt van het restmateriaal koperslakken.
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 keurbegrenzingen 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	Faalmechanisme 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 19e en begin 20e 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 dijkkern 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 dijkringgebied – al dan niet met hoge gronden – omsluit, ofwel vóór een dijkringgebied 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 dijkkern (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 *Leidraad Toetsen op Veiligheid*.
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.
tonrondte	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 toplaagelementen uit de zetting worden gedrukt door waterdruk onder de toplaag.
transmissiviteit	Het gemak waarmee water door een granulaire laag kan stromen, gelijk aan het product van de waterdoorlatendheid en de laagdikte.
tussenlaag	Constructielaag tussen toplaag en basismateriaal.
'twijfelachtig'	Tussenresultaat van de toetsing als met de tot dan doorlopen stappen niet is aangetoond dat de waterkering op de peildatum 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' is.
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 toplaagelementen 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	Toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Vilvoorde, België.
vlies	Geokunststof van korte vezels die willekeurig georiënteerd aan elkaar zijn gehecht (non-woven)
vlijlaag	Constructielaag met filterfunctie, bestaande uit één of meer lagen plat gelegde bakstenen die in verband zijn geplaatst.
voegvulling	Granulair materiaal dat in de spleten tussen de toplaagelementen wordt aangebracht om de wrijving en/of klemming te vergroten.
'voldoende'	Resultaat van de toetsing als de waterkering op de peildatum minimaal voldoet aan de veiligheidsnorm, maar als niet is aangetoond dat aan de ontwerpcriteria wordt voldaan.
voorland	Buitendijks gebied of ondiepe waterbodem.
(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 toplaaginstabiliteit doordat bij onderlinge beweging van naast elkaar liggende toplaagelementen 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 toplaaginstabiliteit waarbij toplaagelementen door de overdruk langzaam maar zeker als een zuiger uit de toplaag worden gedrukt.
zuilen	Veelhoekige toplaagelementen 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, 57, 121,124
aanverwante bekledingstypen 31, 103
afschuiving 47, 86-89
afstandhouders 30, 117
analytische methode 77
ANAMOS 69, 77, 94, 193

B
Basalton 29
basaltzuilen 27
basismateriaal 37, 188
  korrelgrootte 51
beheerder 17
beheerdersoordeel 127
bekleding
  dichtheid 48
  dikte 48
bekledingssysteem 25
bekledingsvak 64
belastingparameter 73
beoordelingsschema 17
beoordelingsspoor 69
beoordelingsstaat 131
berm 39, 46, 71, 79-82, 197
  breedte 46
  factor 79, 198
besteksgegevens 63
betonband 38
betonblokken 27
betonpuin 38
betonzuilen 27
binnenkruinlijn 46
binnentalud 39, 45, 82
black-boxmethode 73
blokken 28
blokkenmatten 32, 103
bovenbeloop 39
brekerparameter 175
breuksteenoverlaging 35, 53, 114, 190

C
correctiefactor Y 116

D
dichtheid water 174
DIPRO 168
dijkkern 37
doorgroeistenen 33, 52, 107
Doornikse steen 27
Drentse stenen Zie Noorse stenen

E
ecotop 29
eenvoudige toetsing 18
erosiebestendigheid klei 189
erosie van de onderlagen 55, 97

F
faalmechanismen 41
falen 41
fictieve taludhelling 79
filter 37, 51, 90
  openingsgrootte 50
filterlaag 37, 50
flinten Zie Noorse stenen
freatische lijn 42

G
gatdiameter 52
geavanceerde toetsing 18
gebakken blokken 28
gedetailleerde toetsing 18
gedrag van de steenzetting 73, 90, 96
geen oordeel (toetsscore) 129
gegevensverzameling 63
gekantelde blokken 30
Gemiddelde Hoogwaterstand (GHW) 171
geokunststof 37, 187
geometrisch-dicht 91, 96
gepenetreerde steenzettingen 34, 53, 113
  oppervlakkig 34, 113
  vol en zat 34, 113, 183
geschakelde steenzettingen 31, 52, 103
goed (toetsscore) 17
golfbelasting 167
golfhoogte 43, 48, 51, 52, 169
golfinvalshoek 171
golfklap 44
golfklapzone 67
golflengte 170
golfoploop 45
golfoploopniveau 175
golfoploopzone 67
golfperiode 43, 170
golfsteilheid 46, 48
golfterugtrekking Zie maximale golfterugtrekking
granietblokken 27
granulaire aanvulling 37

granulaire laag 37
dikte 43, 51, 57, 184
inslibbing, inzanding 74, 186
korrelgrootte 52, 185
porositeit 186
waterdoorlatendheid 43, 51
granulaire voegvulling 35
grasbetonstenen Zie doorgroeistenen
grind 36

H
havendammen 82
Hydra 65, 167
hydraulische belasting 167
hydraulisch materiaal 36
hydraulisch-dicht 93, 97
hydraulische randvoorwaarden 168
HydroBlocks 29

I
ingegoten steenzettingen Zie gepenetreerde steenzettingen:vol en zat
inklemming 182
inslibbing 36, 74, 182
interlockelementen 31, 103
inwasmateriaal 35, 181
inzanding 36, 74, 182

K
keileem 37
kleikern 87
kleilaag 37
dikte 57, 188
erosiebestendigheid 189
korrelgrootteverdeling 188
klemfactor 184
klemming 35, 44
klinkers 26
koperslakblokken 28
kruin 39, 45, 82

L
langsstroming 45, 84
Leendertse blokken 32
leklengte 122
Lessinese steen 28
LTV, *Leidraad Toetsen op Veiligheid* 16, Zie verder VTV

M
maatgevende belastingduur 57, 173
maatgevende waterstand 172
maatregelen n.a.v. toetsresultaten 129
mastiek 34
materiaaltransport 49
vanuit de ondergrond 89-95
vanuit de granulaire laag naar de toplaag 96-97
maximale golfterugtrekking 42
Meerpeil 171
methode Van der Meer 111, 191
mijnsteen 38

N
natuursteen 26-31
niveaus van gegevensverzameling 63
Noordse stenen Zie Noorse stenen
Noorse stenen 33, 52, 109, 190
nulfractie 38

O
ondergrond 37
ongesorteerde mijnsteen 38
onvoldoende (toetsscore) 17, 130
overgangsconstructie 38, 57, 124
invloed op toplaaginstabiliteit 57, 121
overgoten steenzettingen Zie gepenetreerde steenzettingen:oppervlakkig
overlaging Zie breuksteenoverlaging
overslagdebiet 46

P
permeabiliteit 191
Petit graniet 27
PIT-Polygoonzuilen 29
Poolse stenen Zie Noorse stenen

R
rapportage 131
recreatie 55
reststerkte 55, 97
revisiegegevens 63
Ronaton 29
ruwheidselementen 35, 118

S
schadegetal 111, 116
scheepsaanvaring 55
scheepsgolven 168
silex 38
slakken 36, 37

standaardelementen 26
standaard-sorteringen 38
steendiameter 190
steenslag 36, 37
Steentoets 69
sterkteparameter 73
stijghoogte 122
stootvoeg 30
stopwerk 36, 181
stromingsbelasting 174
stroomsnelheid 45, 174

T
taludhelling 44, 46, 48, 51, 67, 175
  bij breuksteenoverlaging 54
  fictief 79
  rekenwaarde 198
technische score 127
teenbestorting 38, 58, 125
teenconstructie 38, 57, 121, 124
toepassingsgebied TRS 21
toetsing
  resultaten 150, 164
  werkwijze 61
Toetspeil 69, 171
toetsvak 64
toetsregels eenvoudige toetsing 75-77
toetsresultaten 150, 164
toplaag 26
  dichtheid 44, 178
  dikte 44, 51, 52, 177
  elementhoogte Zie toplaagdikte
  inslibbing 183
  inzanding 183
  klemfactor 184
  open ruimte 180
  van aanverwante bekledingstypen 31
  van standaardelementen 26
  waterdoorlatendheid 43, 51
toplaaginstabiliteit 41, 71
  bij langsstroming 45
  invloed overgang op 121
transmissiviteit 51
trekproeven 64
TRS, *Technisch Rapport Steenzettingen* 15
  opbouw deel Toetsing 17
  relatie deel Toetsing met VTV 17-21, 64
  toepassingsgebied deel Toetsing 21
turbulentie 45
tussenlagen 25
twijfelachtig (toetsscore) 18

U
uitvullaag 37

V
vakindeling 64
vandalisme 55
veiligheid 41
veiligheidsscore 127
verhang 51, 93, 97
Vilvoordse steen 28
vlies 37
vlijlaag 37, 50, 90, 188
voegvulling 35
voldoende (toetsscore) 17, 129
voorbeeld
  getijdegebied 135
  meerdijk 151
voorland 125
  hoogte 176
VTV, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* 16, 17
  inhoud van 19
  beoordelingsniveaus in 19
  relatie met TRS 17-21

W
waterdoorlatendheid 43
waterstand
  Gemiddelde Hoogwaterstand (GHW) 171
  maatgevend 172
  Meerpeil (MP) 171
weefsel 37
werkwijze toetsing 61
windgolven 167
wrijving 35

IJ
ijsbelasting 55

Z
zakking 90
zand
  korrelgrootte 48
  korrelgrootteverdeling 189
zandscheg 87
zone-indeling 71
zuigermechanisme 36
zuilen 28

Bibliografie

1 *Handboek voor Dimensionering van Gezette Taludbekledingen*, 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 *Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het Toetsen van Primaire Waterkeringen*, Rijkswaterstaat DWW, Delft, april 2002

6 *Rekenmodel Dijkbekleding Hydra-Q*, HKV Lijn in water, augustus 1999

7 *Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*, Rijkswaterstaat DWW, 2000

8 *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren*, TAW, 2003

9 *Praktijkproef Inspectie Dijkbekleding met Grondradar*, HAI-RPT-010009, TNO-TPD, januari 2001

10 *Voorschrift Toetsen op Veiligheid*, TAW, 2003

SECTIE II TOETSINGSPROCES

H.3 Voorbereiding toetsing

3.1	TWEE WERKWIJZEN	lineair: in één keer veel en gedetailleerde gegevens verzamelen iteratief: cyclisch meer – en meer gedetailleerde – gegevens verzamelen
3.2	VERZAMELEN VAN GEGEVENS	vijf niveaus van gegevensverzameling: 'beschikbaar', 'niet-destructief', 'openbreken', 'laboratorium', 'geavanceerd'
3.3	VASTSTELLEN VAKINDELING	drie detailleringsniveaus vakindeling: initieel, globaal en gedetailleerd

H.4 Toetsing van steenzettingen

4.1	STROOMSCHEMA'S TOETSING	zone A: buitentalud onder Toetspeil zone B: buitentalud & kruin boven Toetspeil & bijbehorend binnentalud
4.2	TOPLAAGINSTABILITEIT ZTG	voor toetsing talud indelen in zes zones, naar de criteria: Toetspeil [onder/boven] en (invloed van) berm [zonder/met] en ['laag'/'hoog']
4.3	TOPLAAGINSTABILITEIT ZTS	alleen buitentalud onder Toetspeil (zone A) toetsing op gedrag > eenvoudige toetsing > geavanceerde toetsing
4.4	AFSCHUIVING ZAF	eenvoudige toetsing > geavanceerde toetsing, of eenvoudige toetsing > gedetailleerde toetsing > geavanceerde toetsing
4.5	MATERIAALTRANSPORT ZMO	gedrag > eenvoudige toetsing (kwalitatief) > eenvoudige toetsing (geometrisch-dicht) > gedetailleerde toetsing (hydraulisch-dicht) > geavanceerd
4.6	MATERIAALTRANSPORT ZMG	gedrag > eenvoudige toetsing (geometrisch-dicht) > gedetailleerde toetsing (hydraulisch-dicht) > geavanceerd
4.7	EROSIE ONDERLAGEN ZEO	reststerkte toplaag en granulaire laag > reststerkte kleilaag > geavanceerd

H.5 Toetsing van aanverwante bekledingstypen

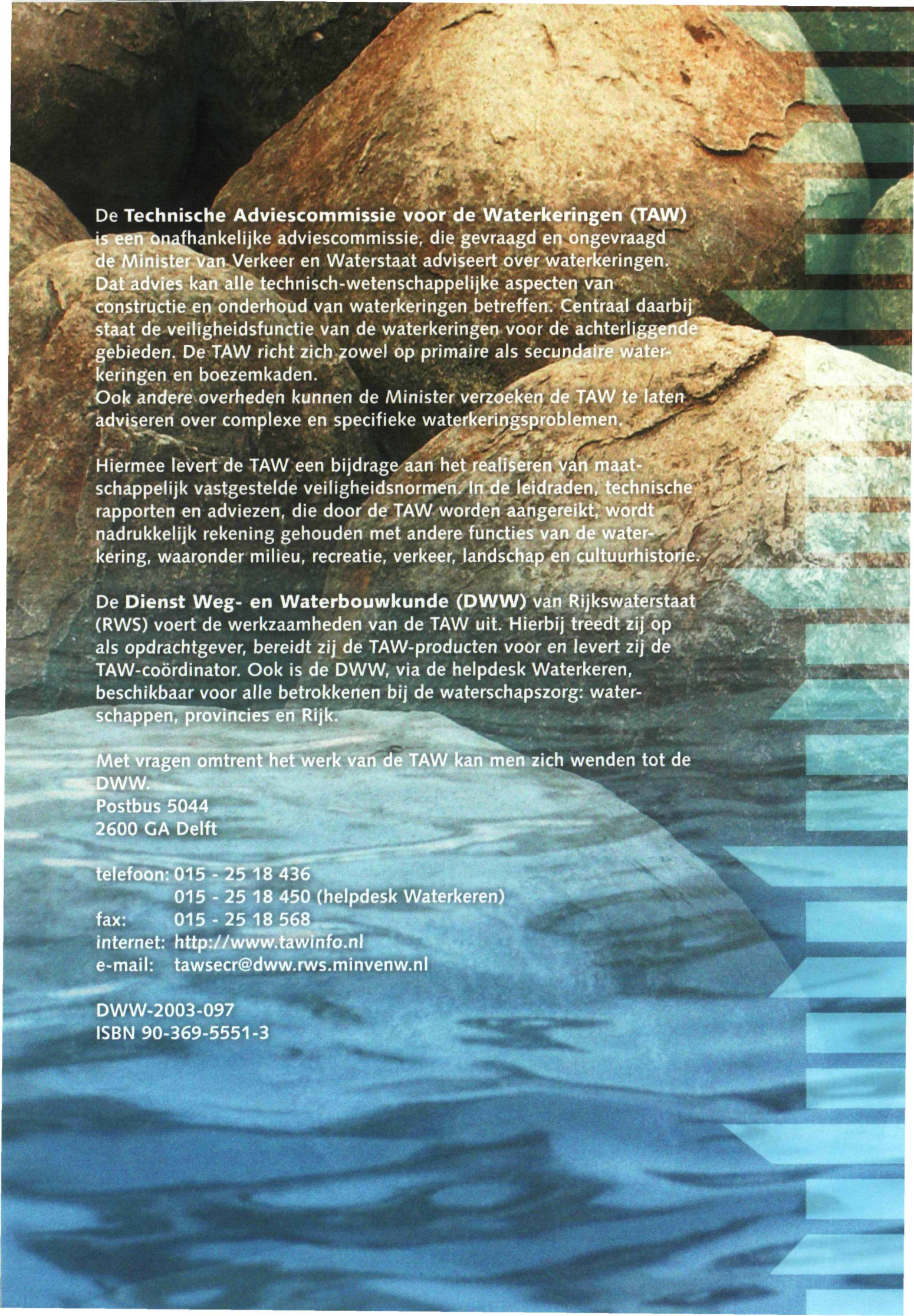
5.1	GESCHAKELDE STEENZETTING	gedrag en verankering hoekelementen > toplaaginstabiliteit bij langsstroming/golfbelasting > (gedetailleerd) > geavanceerd
5.2	DOORGROEISTENEN	toepassingsgrenzen > (toepassing grasregels) > geavanceerd
5.3	NOORSE STENEN	gedrag > toetsing als breuksteen > toetsing als steenzetting > geavanceerd
5.4	GEPENETREERDE STEENZETTING	1 oplichten toplaag (nog geen toetsregels) > geavanceerd 2 toplaaginstabiliteit (geen analytische methode) > geavanceerd
5.5	BREUKSTEENOVERLAGING	rekenmethodes (3): los, patroon-gepenetreeerd, vol en zat gepenetreerd stappen: toepassingsgrens > toepassing ontwerpregels > geavanceerd
5.6	STEENZ. + AFSTANDHOUDERS	als steenzetting zonder afstandhouders, maar onder voorwaarden
5.7	STEENZ. + RUWHEIDSELEMENTEN	als steenzetting zonder ruwheidselementen, maar onder voorwaarden

H.6 Toetsing van teen-, overgangs- en aansluitingsconstructies

6.1	INVLOED OVERGANGEN ZOI	aard en staat van de constructie > gedetailleerd (analytisch) > geavanceerd
6.2	BEZWIJKEN OVERGANGEN ZOB	eenvoudig (kwalitatief) > gedetailleerd (alleen teenconstructie) > geavanceerd

H.7 Omgaan met toetsingsresultaten

7.1	BEHEERDERSOORDEEL	rekenscore en beheerdersoordeel worden gecombineerd tot een technische score per beoordelingsspoor, per toetsvak.
7.2	VASTSTELLING EINDRESULTAAT	de technische scores worden vertaald naar een veiligheidsscore voor de de dijkring: 'voldoet aan de norm'/'voldoet niet aan de norm'
7.3	MAATREGELEN NA TOETSING	maatregelen bij eindscore 'geen oordeel', 'voldoende' en 'onvoldoende'
7.4	RAPPORTAGE	samenvattting, resultaatstabel, overzichtskaart, toetsresultaten, beheerdersoordeel, toetsingservaringen, beheerbeschrijving en PvA



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