



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

***Voorschrift
Toetsen op Veiligheid
Primaire Waterkeringen***

augustus 2007

Inhoudsopgave (kort)

<i>Aanbiedingsbrief staatssecretaris V&W</i>	3
<i>Checklist voor het uitvoeren van de toetsing</i>	9
<i>Centrale Gedeelte</i>	19
<i>Katern 1 Dijkkringgebieden en primaire waterkeringen</i>	39
<i>Katern 2 Beoordeling van de veiligheid</i>	51
<i>Katern 3 Presentatie van de veiligheid</i>	77
<i>Katern 4 Belastingen</i>	87
<i>Katern 5 Dijken en dammen</i>	101
<i>Katern 6 Duinen</i>	179
<i>Katern 7 Waterkerende kunstwerken</i>	215
<i>Katern 8 Bekledingen</i>	245
<i>Katern 9 Voorland</i>	347
<i>Katern 10 Niet-waterkerende objecten</i>	377
<i>Katern 11 Literatuur en rekenmodellen</i>	403
<i>Katern 12 Begrippen, afkortingen en symbolen</i>	413
<i>Appendix A Wet op de waterkering</i>	439

Ruimte voor de begeleidende brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de besturen van de waterschappen, de Gedeputeerde Staten en de hoofdingenieur-directeuren van Rijkswaterstaat.

Ruimte voor de begeleidende brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de besturen van de waterschappen, de Gedeputeerde Staten en de hoofdingenieur-directeuren van Rijkswaterstaat.

Ruimte voor de begeleidende brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de besturen van de waterschappen, de Gedeputeerde Staten en de hoofdingenieur-directeuren van Rijkswaterstaat.

Ruimte voor de begeleidende brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de besturen van de waterschappen, de Gedeputeerde Staten en de hoofdingenieur-directeuren van Rijkswaterstaat.



***Voorschrift
Toetsen op Veiligheid
Primaire Waterkeringen***

augustus 2007

Bijlage II, bedoeld in artikel 2 van de Regeling veiligheid
primaire waterkeringen

Checklist voor het uitvoeren van de toetsing

Stap	Omschrijving	Katern
1.	Centrale gedeelte, Katern 1, Katern 2, Katern 3 en Katern 4 lezen	-
2.	Overzichtskaart opstellen. Categorieën aangeven.	Katern 1
3.	Opdelen keringstelsel.	Katern 2
4.	Beoordelen veiligheid per sectie; de sectie-indeling kan per beoordelingsspoor verschillen. Mogelijk kan gebruik gemaakt worden van eerdere toetsrapportages. Voor de keringen van de categorieën a en b geldt het onderstaande beoordelingsschema: <ul style="list-style-type: none">• Dijken<ul style="list-style-type: none">– Hoogte HT– Stabiliteit ST<ul style="list-style-type: none">. Piping en heave STPH. Macro stabiliteit buitenwaarts STBU. Macro stabiliteit binnenwaarts STBI. Micro stabiliteit STMI. Bekleding STBK. Voorland STVL. Niet-waterkerende objecten NWO• Aansluiting van hoge gronden op primaire waterkeringen• Duinen<ul style="list-style-type: none">– Duinafslag DA– Winderosie WE– Niet-waterkerende objecten NWO• Aansluiting van duinen op dijken/dammen• Kunstwerken<ul style="list-style-type: none">– Hoogte HT– Stabiliteit ST<ul style="list-style-type: none">. Stabiliteit van constructie en grondlichaam STCG. Stabiliteit van (waterkerende) constructieonderdelen STCO. Piping en heave STPH– Betrouwbaarheid sluiting BS	Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 5 Katern 8 Katern 9 Katern 10 Katern 5 Katern 6 Katern 6 Katern 6 Katern 6 Katern 6 Katern 7 Katern 7 Katern 7 Katern 7 Katern 7 Katern 7 Katern 7 Katern 7
5.	Opstellen beheerdersoordeel per sectie.	Katern 2
6.	Samenvatten tot eindscore en veiligheidsoordeel per sectie.	Katern 2
7.	Opstellen eventuele bijlagen met beheeraspecten.	Katern 2
8.	Zonodig en zo mogelijk, info verstrekken over categorie d.	Katern 1
9.	Opstellen eventuele plan van aanpak voor verbetering (bij veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm' of voor nader onderzoek voor de volgende toetsronde (bij 'geen oordeel')).	Katern 3
10.	Verzorgen van de schriftelijke en digitale rapportage	Katern 3

Voor ondersteuning bij het uitvoeren van toetsing kan een beroep gedaan worden op de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte).

Inhoudsopgave

Centrale Gedeelte.....	19
1 Inleiding.....	21
2 Over dit voorschrift.....	24
2.1 Doel.....	24
2.2 Doelgroep.....	24
2.3 Toepassingsgebied.....	25
2.4 Kader.....	25
2.5 Positionering.....	25
2.6 Kennisniveau.....	26
2.6.1 Kennisniveau van dit voorschrift.....	26
2.6.2 Verondersteld kennisniveau voor het gebruik van dit voorschrift.....	27
2.7 Procedure.....	27
3 Toetsen versus ontwerpen.....	28
4 Wijzigingen t.o.v. het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2004.....	29
5 Leeswijzer.....	34
6 Errata, wijzigingen en aanvullingen.....	35
7 Totstandkoming van dit voorschrift.....	36
Katern 1 Dijkkringgebieden en primaire waterkeringen.....	39
1 Dijkkringgebieden en wettelijke norm.....	41
2 Primaire waterkeringen.....	42
3 Hoge gronden.....	49
Katern 2 Beoordeling van de veiligheid.....	51
1 Inleiding.....	53
2 Beoordelingswijze.....	54
2.1 Primaire waterkeringen van de categorie a.....	55
2.1.1 Beoordelingswijze per sectie.....	55
2.1.2 Voorwaarden voor gebruik van resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006.....	56
2.1.3 Beoordeling per sectie volgens de toetsingsregels in dit voorschrift.....	59
2.1.4 Eindscore en veiligheidsoordeel.....	62
2.2 Primaire waterkeringen van de categorie b.....	63
2.3 Primaire waterkeringen van de categorie c.....	64
2.4 Primaire waterkeringen van de categorie d.....	64
2.5 Hoge gronden.....	65
3 Indeling in secties.....	66
4 Beoordelingssporen.....	69
5 Beoordelingscriterium.....	71
6 Beheerdersoordeel.....	73
6.1 Redenen en/of oorzaken voor het opstellen van het beheerdersoordeel.....	73

6.2	Het opstellen van het beheedersoordeel	74
6.3	Afweging eindscore toetsingsregels en beheedersoordeel.....	75
Katern 3	Presentatie van de veiligheid	77
1	Waardering per dijkingsgebied	79
2	Presentatie van de toetsresultaten.....	80
2.1	Algemeen	80
2.2	Rapportage door de beheerder	80
2.2.1	Schriftelijke rapportage	80
2.2.2	Digitale rapportage.....	82
2.3	Rapportage door Gedeputeerde Staten	83
2.3.1	Schriftelijke rapportage	83
2.3.2	Digitale rapportage.....	84
3	Handreiking voor plan van aanpak bij rapportage.....	85
3.1	Algemeen	85
3.2	Rivierdijken met een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels	85
3.3	Duinsecties met een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels	86
Katern 4	Belastingen.....	87
1	Inleiding.....	89
2	Toelichting bij HR2006.....	90
2.1	HR2006	90
2.2	Hydraulische parameters	90
2.2.1	Waterstanden.....	90
2.2.2	Golven	93
2.2.3	Waterstandsverlopen en afvoergolven	95
2.2.4	Stroomsnelheden.....	96
3	Overige belastingen.....	97
3.1	Algemeen	97
3.2	Wind.....	97
3.3	Ijs.....	98
3.4	Verkeer	98
3.5	Schepen en drijvende voorwerpen	98
3.5.1	Hydraulische belasting als gevolg van langsvarende schepen	98
3.5.2	Aanvaringen.....	99
3.6	Aardbevingen en aardshokken.....	99
Katern 5	Dijken en dammen.....	101
1	Inleiding.....	103
1.1	Definitie en afbakening	103
1.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen	103
1.3	Leeswijzer	108
2	Belastingen.....	109
2.1	Hoogte HT	109
2.2	Stabiliteit ST	109
3	Sterkte 111	
3.1	Hoogte HT	111
3.2	Stabiliteit ST	112
3.2.1	Algemeen	112
3.2.2	Piping en heave STPH.....	112
3.2.3	Macrostabieliteit binnenwaarts STBI en buitenwaarts STBU	112
3.2.4	Microstabieliteit STMI.....	113
3.2.5	Stabiliteit van de bekleding STBK	113

3.2.6	Stabiliteit voorland STVL.....	113
3.3	Niet-waterkerende objecten NWO.....	113
4	Beoordeling.....	114
4.1	Hoogte HT.....	114
4.1.1	Algemeen.....	114
4.1.2	Beoordeling van de hoogte van Maaskaden.....	118
4.2	Stabiliteit ST.....	124
4.2.1	Beoordelingsschema.....	124
4.2.2	Piping en heave STPH.....	126
4.2.3	Macrostabiliteit binnenwaarts STBI.....	135
4.2.4	Macrostabiliteit buitenwaarts STBU.....	145
4.2.5	Microstabiliteit STMI.....	148
4.2.6	Bekledingen STBK.....	151
4.2.7	Voorland STVL.....	151
4.3	Niet-waterkerende objecten NWO.....	152
5	Havendammen.....	153
5.1	Definities en beoordelingssporen.....	153
5.2	Beoordeling.....	154
5.2.1	Kruinhoogte (HT).....	154
5.2.2	Damlichaam: Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU).....	154
5.2.3	Damlichaam: Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI).....	155
5.2.4	Damlichaam: Microstabiliteit (STMI).....	155
5.2.5	Voorland: Afschuiving (AF) en Zettingsvloeiing (ZV).....	155
5.2.6	Stabiliteit Bekleding (STBK).....	156
5.2.7	Niet-waterkerende objecten (NWO).....	171
5.2.8	Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen.....	171
6	Aansluiting van dijken aan hoge gronden.....	172
6.1	Definitie en afbakening.....	172
6.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen.....	172
6.3	Beoordeling.....	173
6.3.1	Aansluiting op de primaire waterkering HAP.....	173
6.3.2	Achterloopsheid bij hoge gronden HAL.....	173
	Bijlage 5- 1: Partiële factoren macrostabiliteit.....	174
B1. 1	Modelfactoren.....	174
B1. 2	Materiaalfactoren.....	174
B1. 3	Schadefactoren.....	176

Katern 6 Duinen..... 179

1	Inleiding.....	181
1.1	Definitie en afbakening.....	181
1.1.1	Duinen.....	181
1.1.2	Aansluitingsconstructies.....	183
1.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen.....	185
1.2.1	Duinen.....	185
1.2.2	Aansluitingsconstructies.....	187
2	Belastingen.....	193
2.1	Duinafslag DA.....	193
2.2	Winderosie WE.....	193
2.3	Duinvoetverdedigingen.....	193
2.4	Niet-waterkerende objecten NWO.....	194
2.5	Aansluitingsconstructies.....	194
3	Sterkte 195	
3.1	Duinafslag DA.....	195
3.2	Winderosie WE.....	195

3.3	Duinvoetverdedigingen.....	196
3.4	Niet-waterkerende objecten NWO.....	196
3.5	Aansluitingsconstructies	196
4	Beoordeling.....	197
4.1	Inleiding.....	197
4.2	Duinen	198
4.2.1	Duinafslag DA	198
4.2.2	Winderosie WE.....	202
4.2.3	Niet-waterkerende objecten in grensprofiel NWO	204
4.3	Aansluitingsconstructies tussen duinen en dijken/dammen	204

Katern 7 Waterkerende kunstwerken 215

1	Inleiding.....	217
1.1	Definitie en afbakening	217
1.2	Beoordelingssporen.....	219
2	Belastingen.....	221
3	Sterkte 222	
4	Beoordeling.....	224
4.1	Hoogte van de waterkerende constructie (HT)	224
4.1.1	Algemeen	224
4.1.2	Toets op Hoogte HT van harde en demontabele Maaskaden.....	230
4.2	Stabiliteit en sterkte (ST).....	230
4.2.1	Beoordelingsschema.....	230
4.2.2	Stabiliteit van constructie en grondlichaam (STCG)	233
4.2.3	Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen (STCO)	234
4.2.4	Piping en heave (STPH).....	235
4.3	Betrouwbaarheid sluiting (BS)	237
4.3.1	Algemeen	237
4.3.2	Toets op Betrouwbaarheid sluiting BS van harde en demontabele Maaskaden.....	242

Katern 8 Bekledingen..... 245

1	Inleiding.....	247
1.1.1	Rol van de bekleding in de veiligheid.....	247
1.2	Bekledingstypes.....	247
2	Steenzettingen	249
2.1	Inleiding.....	249
2.1.1	Definitie en afbakening	249
2.1.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen	249
2.2	Belastingen.....	251
2.2.1	Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG	251
2.2.2	Toplaaginstabiliteit onder langstroming ZTS	251
2.2.3	Afschuiving ZAF.....	251
2.2.4	Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO	251
2.2.5	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG	252
2.2.6	Erosie van de onderlagen ZEO	252
2.3	Sterkte	253
2.3.1	Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG	253
2.3.2	Toplaaginstabiliteit onder langstroming ZTS	253
2.3.3	Afschuiving ZAF.....	253
2.3.4	Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO	253
2.3.5	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG	253
2.3.6	Erosie van de onderlagen ZEO	253
2.4	Beoordeling.....	253
2.4.1	Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG	253

2.4.2	Toplaaginstabiliteit onder langstroming ZTS	261
2.4.3	Afschuiving ZAF	263
2.4.4	Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO	266
2.4.5	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG	271
2.4.6	Erosie van de onderlagen ZEO ('reststerkte')	273
2.5	Toetsing van overgangsconstructies bij steenzettingen	277
2.5.1	Beoordelingssporen	277
2.5.2	Invloed overgang op toplaaginstabiliteit ZOI	277
2.5.3	Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie ZOB	279
3	Asfaltbekledingen	282
3.1	Inleiding	282
3.1.1	Definitie en afbakening	282
3.1.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen	282
3.2	Belastingen	285
3.2.1	Zone-indeling	285
3.2.2	Materiaaltransport AMT	285
3.2.3	Beoordeling ernstige schade AES	285
3.2.4	Golfklap AGK	286
3.2.5	Wateroverdruk AWO	286
3.2.6	Bezwijken van de onderlaag ABO	286
3.3	Sterkte	286
3.3.1	Visuele inspectie	287
3.3.2	Materiaaltransport AMT	288
3.3.3	Beoordeling ernstige schade AES	288
3.3.4	Golfklap AGK	288
3.3.5	Wateroverdruk AWO	290
3.3.6	Bezwijken van de onderlaag ABO	290
3.4	Beoordeling	291
3.4.1	Materiaaltransport AMT	291
3.4.2	Beoordeling ernstige schade AES	294
3.4.3	Golfklap AGK	295
3.4.4	Wateroverdruk AWO	302
3.4.5	Bezwijken van de onderlaag ABO	311
3.5	Toetsing van overgangsconstructies	312
4	Grasmat	315
4.1	Inleiding	315
4.1.1	Definitie en afbakening	315
4.1.2	Faalmechanismen en beoordelingssporen	316
4.1.3	Hoofdschema toetsing	317
4.2	Belastingen	319
4.2.1	Erosie door golfklap GEKL	319
4.2.2	Erosie door golfloop GEOP	320
4.2.3	Erosie door golfoverslag GEOV	322
4.2.4	Erosie van de onderlagen GEO	322
4.2.5	Afschuiving GAF	322
4.3	Sterkte	323
4.3.1	Erosiebestendigheid van de zode	323
4.3.2	Erosie van de onderlagen GEO	325
4.3.3	Afschuiving GAF	326
4.4	Beoordeling	326
4.4.1	Toetsing grasbekleding in ontwikkelingsfase	326
4.4.2	Toetsing gedrag	326
4.4.3	Erosie door golfklap GEKL	326
4.4.4	Erosie door golfloop GEOP en Erosie door golfoverslag GEOV	330
4.4.5	Erosie van de onderlagen GEO	333
4.4.6	Afschuiving GAF	334

Bijlage 8 - 1: Kwaliteit graszode	338
B1.1 Bepaling zodekwaliteit op basis van beheertype	338
B1.2 Bepaling zodekwaliteit op basis van vegetatiesamenstelling	339
B1.3 Bepaling zodekwaliteit op basis van doorworteling	340
Bijlage 8 - 2: Erosiebestendigheid klei in de zode	343

Katern 9 Voorland..... 347

1 Inleiding	349
1.1 Waarom is het voorland van belang?	349
1.2 Afschuiving	350
1.3 Zettingsvloeiing	350
1.4 Vergelijking afschuiving en zettingsvloeiing	350
1.5 Definities	351
2 Beoordeling voorland	353
2.1 Opzet van de toetsing	353
2.2 Toetsing op Afschuiving AF	354
2.3 Toetsing op Zettingsvloeiing ZV	358
Bijlage 9 - 1: Bepaling fictieve geuldiepte	362
Bijlage 9 - 2: Schadelijkheids criterium afschuiving	366
B2.1 Standaardgeval (zonder vooroeverbetorlingen)	366
B2.2 Situatie met vooroeverbetorling	367
Bijlage 9 - 3: Optredings criterium afschuiving	369
Bijlage 9 - 4: Schadelijkheids criterium zettingsvloeiing	370
B4.1 Standaardgeval (zonder vooroeverbetorlingen)	370
B4.2 Deels verwekingsgevoelig voorland	371
B4.3 Situatie met een vooroeverbetorling	372
Bijlage 9 - 5: Optredings criterium zettingsvloeiing	375
Bijlage 9 - 6: Verwekingsgevoeligheid	376

Katern 10 Niet-waterkerende objecten..... 377

1 Inleiding	379
1.1 Niet-waterkerende objecten	379
1.2 Essentie van de toetsmethode	379
2 Belastingen	381
2.1 Algemeen	381
2.2 Verstoring grondlichaam	381
2.3 Externe belastingen	381
2.4 Grondwater: interne erosie/verhoging freatisch vlak	381
2.5 Oppervlaktewater: erosie, golfaanval	382
2.6 Zetting en kiervorming	382
2.7 Beperking in vrijheid van beheer en onderhoud	382
3 Beoordelingsprofiel	383
3.1 Inleiding	383
3.2 Principe en werkwijze beoordelingsprofiel	383
3.3 Is het opstellen van een beoordelingsprofiel zinvol?	385
3.3.1 Is het fysiek aanwezige profiel zonder NWO voldoende veilig? (stap a)	385
3.3.2 Is de waterkering overgedimensioneerd? (stap b)	385
3.4 Bepalen van kritieke lijnen en begrenzingen	385
3.4.1 Kritieke lijn Macrostabieleit buitenwaarts STBU en Bekledingen STBK (stap c.1)	385
3.4.2 Kritieke lijn Hoogte HT (stap c.2)	387

3.4.3	Kritieke lijn Macrostabiliiteit binnenwaarts STBI (stap c.3).....	387
3.4.4	Kritieke lijn Piping en heave STPH (stap c.4).....	388
3.4.5	Kritieke lijn Microstabiliiteit (stap c.5)	388
3.5	Opstellen beoordelingsprofiel.....	389
4	Beoordeling per categorie.....	390
4.1	Beoordelingsschema.....	390
4.2	Begroeiing	390
4.3	Bebouwing	394
4.4	Pijpleidingen en kabels.....	397
4.4.1	In gebruik zijnde pijpleidingen die niet door middel van horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd	398
4.4.2	In gebruik zijnde pijpleidingen die zijn aangelegd door middel van horizontaal gestuurde boring.....	401
4.4.3	Verlaten pijpleidingen.....	401
4.4.4	Kabels en mantelbuizen	401
4.5	Overige constructies	402

Katern 11 Literatuur en rekenmodellen 403

1	Literatuur.....	405
2	Rekenmodellen.....	409
2.1	Hydraulische randvoorwaarden en belastingen	409
2.2	Dijken en dammen.....	410
2.3	Duinen	410
2.4	Bekledingen.....	410
2.4.1	Steenzettingen.....	410
2.4.2	Asfaltbekledingen	411
2.4.3	Grasbekledingen.....	411

Katern 12 Begrippen, afkortingen en symbolen 413

1	Begrippen.....	415
2	Afkortingen.....	429
3	Symbolen	432

Appendix A Wet op de waterkering 439

1	Geschiedenis.....	441
2	Wet op de waterkering.....	443

Centrale Gedeelte

1 Inleiding

De Wet op de waterkering (hierna aangeduid als de Wet [1]; zie ook appendix A) schrijft sinds 1996 een vijfjaarlijkse toetsing voor, waarin de per dijkkringgebied aanwezige veiligheid tegen overstroming wordt getoetst aan de norm, die in de Wet is vastgelegd. In een dijkkringgebied geldt overal dezelfde norm. Inmiddels zijn twee toetsrondes verstreken.

Het doel van de Wet is om de veiligheid tegen overstromen te waarborgen. Deze veiligheid wordt nu volgens Artikel 3 van de Wet gedefinieerd als de waterstand, met een in Bijlage II en IIA bij de Wet genoemde overschrijdingsfrequentie, die een kering veilig kan keren.

Het voorliggende Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (hierna aangeduid als VTV2006) bevat regels volgens welke de toetsing uitgevoerd dient te worden en vervangt het in 2004 uitgebrachte Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV2004) [28].

De hydraulische randvoorwaarden die nodig zijn om de toetsing uit te kunnen voeren zijn vastgelegd in de Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006) [45] en het proces tot aan de rapportage aan de Staten Generaal is op hoofdlijnen beschreven in het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 [46].

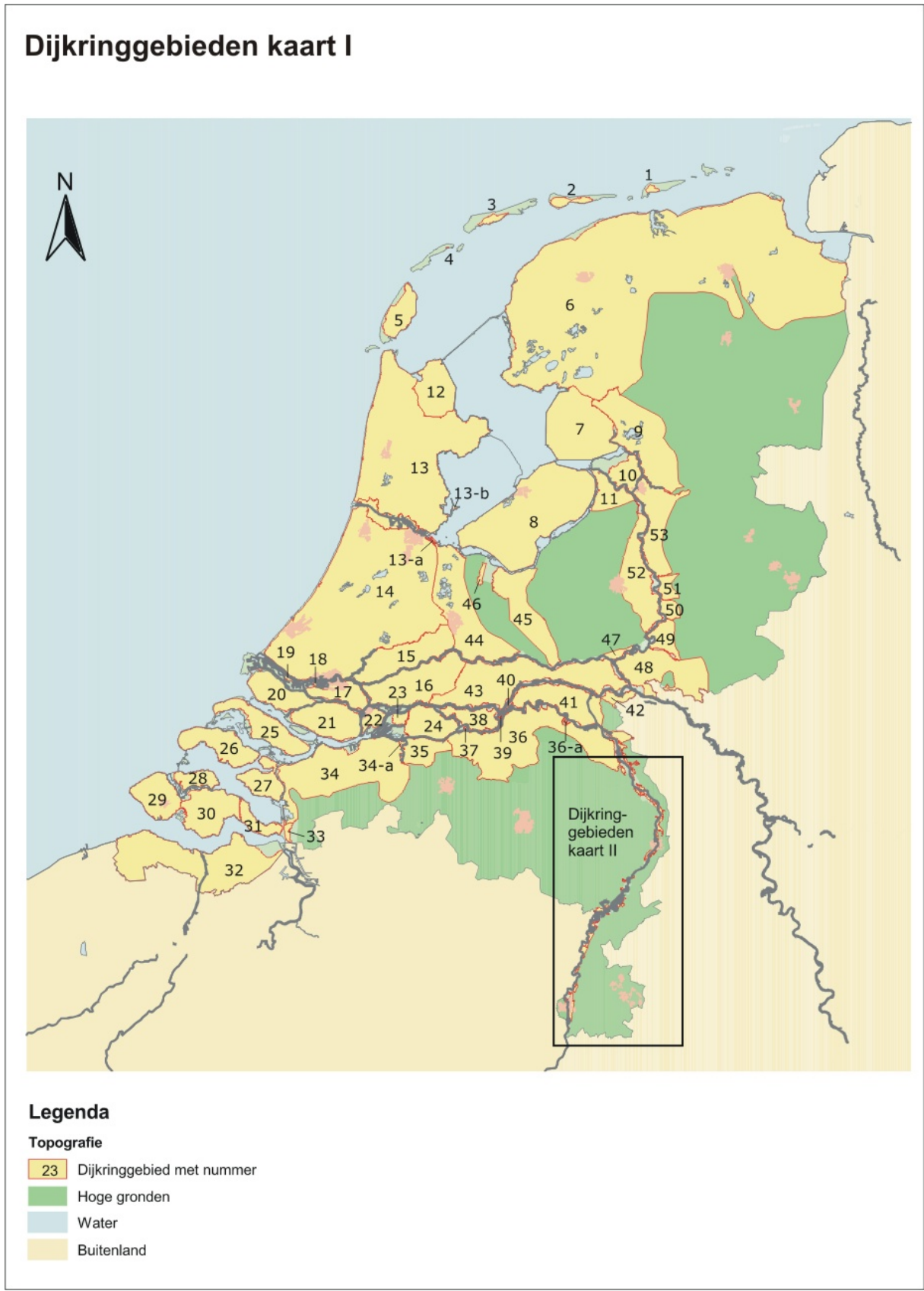
Bij de twee eerdere toetsrondes zijn ervaringen met de toetsing opgedaan. Daarnaast zijn nieuwe kennis en inzicht ontwikkeld in het gedrag van waterkeringen onder invloed van belastingen en bedreigingen. Zo is nieuwe kennis ontwikkeld ten aanzien van de duinentoets en de beoordeling van steen- en asfaltbekledingen.

Bovendien zijn dijkkringgebieden langs de Limburgse Maas onder de Wet geplaatst, die nog niet eerder zijn getoetst.

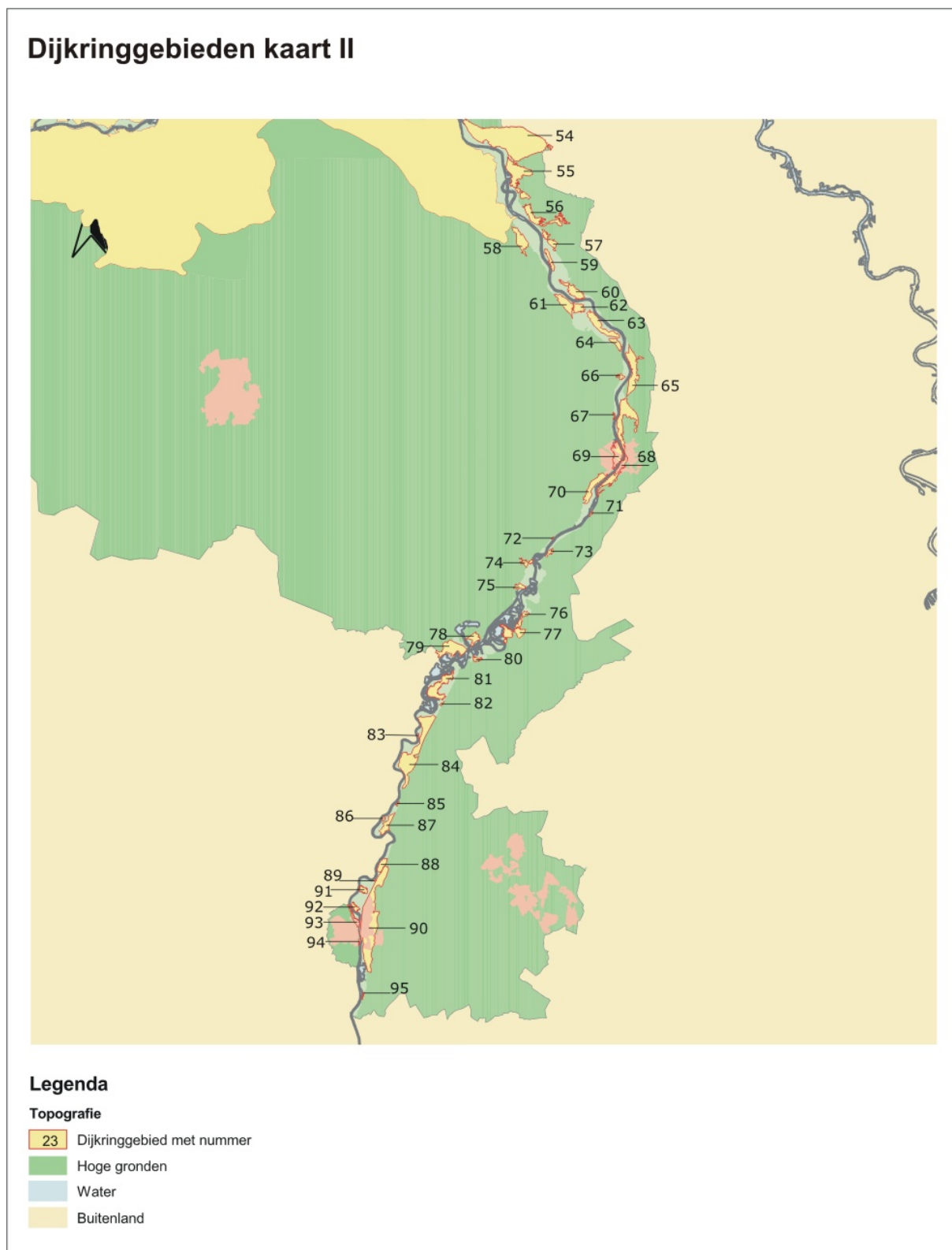
Om deze redenen zijn de te hanteren toetsingsregels aangepast aan de nieuwste ervaringen, inzichten en kennis en wordt een aangepast voorschrift uitgebracht.

De globale situering van de dijkkringgebieden is aangegeven in Bijlagen I en IA bij de Wet en in Figuur 1.1 en Figuur 1.2 op de volgende pagina's. De exacte locatie van de primaire waterkeringen dient volgens Artikel 13 van de Wet te zijn aangegeven op de overzichtskaart en in de legger.

Figuur 1.1
Globale ligging van dijkringgebieden en hoge gronden - deel 1



.....
Figuur 1.2
Globale ligging van dijkkringgebieden en hoge gronden - deel 2



2 Over dit voorschrift

2.1 Doel

Om een regelmatig geactualiseerd beeld te krijgen van de veiligheid tegen overstromen als gevolg van hoog buitenwater en om die veiligheid tegen overstromen in de toekomst te kunnen waarborgen is in artikel 9 van de Wet [1] opgenomen dat vijfjaarlijks verslag wordt gedaan over de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen.

Om een landelijk eenduidige beeld van de actuele toestand te verkrijgen is in dit voorschrift aangegeven hoe te handelen bij het toetsen op veiligheid en door wie. Hierbij is dit voorschrift een uniforme maatstaf voor de beoordeling van de kwaliteit van de keringen die dienen ter bescherming tegen overstroming van het dijkkringgebied als geheel.

Verder worden in dit voorschrift algemene richtlijnen gegeven voor de rapportage van de toetsresultaten.

2.2 Doelgroep

Dit voorschrift is in de eerste plaats bedoeld voor de **beheerders van primaire waterkeringen**. Zij dienen aan de hand van dit voorschrift de veiligheid tegen overstromen van de bij hen in beheer zijnde primaire waterkeringen te beoordelen en dit te rapporteren aan de betreffende Gedeputeerde Staten.

De primaire waterkeringen zijn voornamelijk in beheer bij waterschappen en regionale diensten van Rijkswaterstaat. Enkele gedeelten zijn in beheer bij gemeenten en anderen.

Daarnaast is dit voorschrift bedoeld voor de **toezichthouders op de primaire waterkeringen**, zijnde de provincies. Zij kunnen aan de hand van dit voorschrift de beoordeling van primaire waterkeringen, die binnen de verantwoordelijkheid van de provincie vallen, en de rapportage van die beoordeling controleren. Gedeputeerde Staten stellen aan de hand van de ontvangen rapportages van de beheerders en dit voorschrift een rapportage op aan de minister van Verkeer en Waterstaat over de veiligheid tegen overstromen van de binnen de verantwoordelijkheid van de provincie vallende primaire waterkeringen.

Als laatste controleert het **Rijk** in de persoon van de minister van Verkeer en Waterstaat de beoordeling van de primaire waterkeringen en de rapportage van die beoordeling aan de hand van dit voorschrift. Uiteindelijk rapporteert de minister van Verkeer en Waterstaat over de algemeen waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen aan de Eerste en Tweede Kamer der Staten Generaal.

De beheerders, provincies en het Rijk kunnen zich laten bijstaan door **adviseurs**. Dit zijn in het algemeen ingenieursbureaus.

2.3 Toepassingsgebied

Dit voorschrift is uitsluitend bedoeld voor de *beoordeling van de door primaire waterkeringen geboden veiligheid tegen overstromen van dijkingsgebieden door primaire waterkeringen (toetsen op de functie 'veiligheid')*.

De beoordeling van niet-primaire waterkeringen, zoals boezemkaden en kanaaldijken, valt buiten het toepassingsgebied van dit voorschrift.

Ook het beoordelen van de kwaliteit van de overige functies van de keringen valt buiten het bereik van dit voorschrift. Daar waar in het vervolg gesproken wordt over 'toetsing' betreft het dan ook uitsluitend de kwaliteit van de functie 'veiligheid tegen overstromen'.

Dit voorschrift bevat toetsingsregels voor de beoordeling van de primaire waterkeringen bij maatgevende belastingen door buitenwater (Toetspeil).

2.4 Kader

Volgens artikel 9 van de Wet [1] dient de beheerder iedere vijf jaar verslag te doen over de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkering.

Volgens artikel 5a van de Wet worden bij ministeriële regeling 'regels gesteld voor de door de beheerder te verrichten beoordeling van de veiligheid van primaire waterkeringen'. Dit artikel is de grondslag voor het VTV.

Voor het ontwerpen en beheren van primaire waterkeringen zijn door het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) en voorheen de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), leidraden en technische rapporten uitgebracht. In dit voorschrift worden leidraden en technische rapporten uitgegeven door de TAW en/of ENW aangeduid als TAW/ENW (ontwerp)leidraden en technische rapporten.

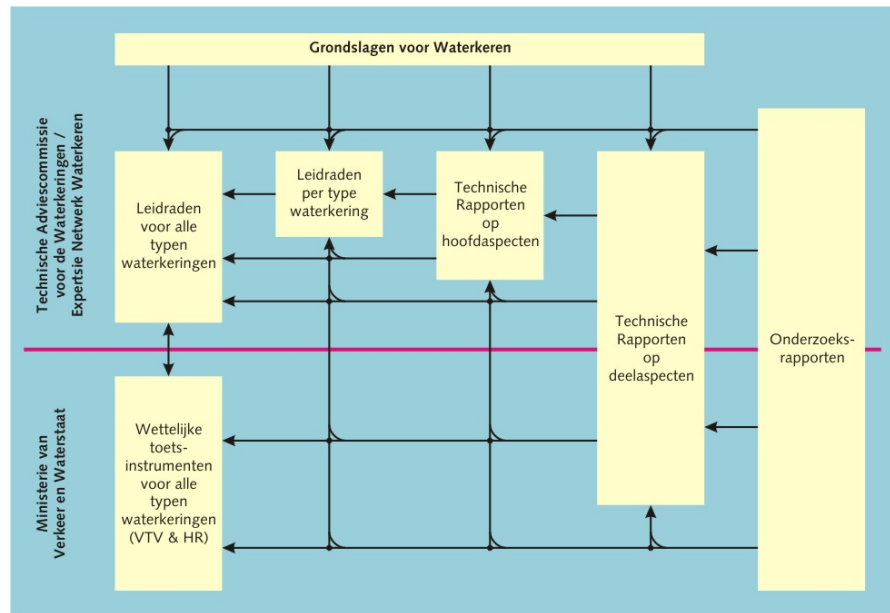
2.5 Positionering

Het *VTV2006* is met de *Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006)* [45] het instrumentarium voor het uitvoeren van de toetsing. Beide zijn uitgebracht door het ministerie van Verkeer en Waterstaat en vastgesteld door de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. Het VTV2006 is afgestemd op de vigerende TAW/ENW ontwerp- en technische rapporten en bevat beoordelingscriteria.

Het VTV2006 en de HR2006 zijn aparte wettelijke toetsinstrumenten gebaseerd op onder meer TAW/ENW- en technische rapporten en -onderzoeken. Een overzicht van de samenhang tussen beschikbare documenten opgesteld door het Rijk en TAW/ENW betreffende ontwerpen, beheren, onderhouden en beoordelen van primaire waterkeringen is gegeven in Figuur 2.1.

Figuur 2.1

Samenhang tussen V&W-voorschriften, TAW/ENW leidraden en technische rapporten. Een actueel overzicht van vigerende TAW/ENW leidraden en technische rapporten is te vinden op de internetpagina van ENW: www.enwinfo.nl.



De TAW/ENW *leidraden* per waterkeringstype of watersysteem vormen elk een afgerond geheel in die zin dat per waterkeringstype of per watersysteem alle relevante aspecten van de waterkeringzorg worden behandeld. In de leidraden voor het ontwerpen van waterkeringen wordt ten aanzien van de functie ‘veiligheid’ zowel ingegaan op de keuzes en criteria als op de wijze van dimensioneren. Ten aanzien van andere functies wordt in meer globale zin ingegaan op relevante aspecten. Naast het ontwerp komen ook aspecten als beheer en uitvoering aan de orde.

Het ENW stelt een concept leidraad vast, waarna deze formeel door de minister van Verkeer en Waterstaat wordt vastgesteld (artikel 5 van de Wet).

In aanvulling op de leidraden wordt door het ENW kennis ten aanzien van een bepaald mechanisme, materiaal of constructieonderdeel in *technische rapporten* vastgelegd. Technische rapporten worden vastgesteld door het ENW.

2.6 Kennisniveau

2.6.1 Kennisniveau van dit voorschrift

In dit voorschrift is de kennis verwerkt die is opgenomen in vigerende TAW/ENW leidraden en -technische rapporten, V&W-voorschriften, NEN-normen en overige van toepassing zijnde richtlijnen en handreikingen. Deze vastgelegde kennis is aangevuld met algemeen geaccepteerde kennis die nog niet is opgenomen in een richtlijn of handreiking.

Op een aantal punten zijn de huidige inzichten en vaardigheden nog in meer of mindere mate onvoldoende om een zekere uitspraak te kunnen doen met betrekking tot het wel of niet voldoen aan de norm van (delen van) een primaire waterkering. Voorbeelden zijn:

- het in rekening brengen van bijzondere belastingen, zoals aanvaringen, directe windbelasting, dynamische (verkeers)belasting;
- de sterkte van oudere kunstwerken;
- de aard, oorsprong en criteria voor het ontstaan van zettingsvloeiingen;

- de invloed van het bezwijken van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen van dijken en duinen.

2.6.2 Verondersteld kennisniveau voor het gebruik van dit voorschrift

In dit voorschrift wordt per te toetsen mechanisme een drietal niveaus onderscheiden:

- **eenvoudige of geometrische toetsmethodes**

Hierbij wordt aan de hand van elementaire informatie, zoals de afmetingen van de waterkering en de globale opbouw en samenstelling van de ondergrond, de waterkering getoetst aan voor die situatie veilige afmetingen.

Voor het uitvoeren van deze toets volstaat elementaire kennis over de waterkering en de mogelijke bezwijkmechanismen. Deze toets kan worden uitgevoerd door de beheerder zelf;

- **gedetailleerde toetsmethodes**

De functie 'veiligheid' van de waterkering wordt getoetst aan de toetsrandvoorwaarden met gebruikmaking van ontwerpmethodes en -criteria, zoals beschreven in TAW/ENW-leidraden en -technische rapporten.

De gedetailleerde toetsmethode veronderstelt kennis over de mogelijke bezwijkmechanismen en ontwerpmethodes. Deze toets kan worden uitgevoerd door ter zake kundige beheerders en deskundigen;

- **geavanceerde toetsmethodes**

Indien algemeen geaccepteerde methodes, zoals beschreven in TAW/ENW leidraden en -technische rapporten, niet toereikend zijn om een weloverwogen oordeel uit te spreken over de waterstaatkundige toestand van de waterkering kan een beroep worden gedaan op deskundigen om alsnog tot een oordeel te komen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de meest recente kennis en inzichten.

2.7 Procedure

In deze paragraaf is globaal de procedure beschreven om tot een landelijk eenduidig beeld te komen van de veiligheid tegen overstromen. Het proces van toetsing is op hoofdlijnen beschreven in het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46].

De beheerder voert één keer per vijf jaar de toetsing uit. Daarbij gaat hij in op de technisch-kwalitatieve aspecten van de waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen (dat wil zeggen de kwaliteit van de functie 'veiligheid' tegen overstromen) op de peildatum. De beheerder rapporteert aan Gedeputeerde Staten in hoeverre de keringen voldoen aan de wettelijke norm, en geeft daarbij een omschrijving van eventuele reparaties en/of verbeteringen, die op een daarbij aan te geven termijn nodig worden geacht.

Gedeputeerde Staten beoordelen de toetsingsrapporten van de beheerders. Als er in een dijkringgebied meerdere beheerders zijn, bezien Gedeputeerde Staten of deze de toetsing voldoende op elkaar hebben afgestemd. Ze geven vervolgens in hun verslag aan de minister een waardering in technisch en bestuurlijk opzicht over de beveiliging per dijkringgebied op grond van de door de beheerders toegeleverde en gemotiveerde bevindingen. Zij gaan na of de door de beheerder voorgenomen maatregelen op grond van normaal onderhoud voldoende zijn om de norm te handhaven en geven een oordeel over de eventuele noodzaak om voorzieningen te treffen die niet tot het normale onderhoud behoren.

De minister stelt het tijdstip vast waarop Gedeputeerde Staten hun verslag moeten hebben ingezonden. Het tijdstip van indienen van de rapportage door de beheerder dient daar vanzelfsprekend op te zijn afgestemd.

3 Toetsen versus ontwerpen

Toetsen op veiligheid is het beoordelen van de waterkering door vergelijken van de aanwezige sterkte van de waterkering met de bij de norm behorende belastingen; het toetsen vertoont voor een deel andere kenmerken dan ontwerpen of beoordelen op optimaal beheer. De belangrijkste verschillen tussen toetsen en ontwerpen zijn:

- een **ontwerper** gaat meestal uit van een blanco situatie en zoekt voor een langere periode een optimum voor kosten in aanleg en onderhoud, afgestemd op alle te vervullen functies;
- bij **beoordelen op optimaal beheer** schat men in welk beheer- en onderhoudsbeleid moet worden gevoerd om de waterkering in een goede conditie te houden tegen minimale kosten en bij voldoende functievervulling;
- toetsen richt zich uitsluitend op de **waterkerende functie** van de waterkering. Bij ontwerpen worden tevens andere functies van de waterkering beschouwd;
- bij toetsen wordt er naar gestreefd **dezelfde methodes** te hanteren als bij ontwerpen om de veiligheid tegen overstromen te beschouwen. **Uitgangspunten en randvoorwaarden** zullen echter verschillen;
- bij toetsen wordt de veiligheid tegen overstromen beoordeeld op de **peildatum**. Aangezien het toetsen op veiligheid een cyclus kent van vijf jaar, is de zichtperiode hierbij ook vijf jaar. Bij het ontwerpen wordt veelal uitgegaan van een planperiode/levensduur van 50 jaar voor dijken en dammen en van 100 of 200 jaar voor kunstwerken en bijzondere beschermingsconstructies.

Als gevolg van verschillen tussen toetsen en ontwerpen kan een ontwerp- of beheersvoorschrift andere eisen aan een bekleding opleveren dan een veiligheidstoetsing.

Dit voorschrift beperkt zich tot de veiligheidstoetsing. Het uitgangspunt bij de gegeven methode is dus niet de ontwerper, die in staat moet worden gesteld stap voor stap een waterkering te dimensioneren en te optimaliseren, maar de beheerder, die kennis en ervaring heeft over het gedrag van de aanwezige kering. Deze heeft aanvullende richtlijnen nodig om, vanuit zijn ervaring, het gedrag van de kering onder extreme omstandigheden te kunnen beoordelen en te vertalen naar een veiligheidsoordeel.

Doordat toetsregels en toetscriteria zijn opgesteld specifiek voor de beoordeling van de veiligheid tegen overstromen, zijn deze niet geschikt voor ontwerpen en mogen daarvoor dan ook niet worden toegepast.

4 Wijzigingen t.o.v. het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2004

Het wettelijk toetsinstrumentarium bestaat uit HR2006 [45] en dit voorschrift en is ten opzichte van de vorige versie van het wettelijk toetsinstrumentarium (HR2001 en VTV2004) aangepast aan:

- de Wet op de waterkering [1];
- de TAW/ENW-leidraden en -technische rapporten die zijn uitgebracht sinds het verschijnen van het VTV2004 en andere van toepassing zijnde richtlijnen en normen, zoals NEN-normen;
- de ervaring opgedaan met het gebruik van het VTV2004.

Hierna worden de belangrijkste wijzigingen genoemd.

Primaire waterkeringen van de categorie c

In HR2006 zijn geen hydraulische randvoorwaarden opgenomen voor het toetsen van primaire waterkeringen van de categorie c en in dit voorschrift zijn geen toetsingsregels opgenomen voor het toetsen van primaire waterkeringen van de categorie c. Dit betekent dat primaire waterkeringen van de categorie c niet getoetst worden in het kader van dit voorschrift.

Maaskaden

Ten behoeve van de beoordeling van de Maaskaden is het Voorschrift Toetsen Maaskaden (VTM) [44] opgesteld. Het VTM is integraal opgenomen in dit voorschrift.

Sinds de wijziging van de Wet op de waterkering op 28 september 2005 vallen de dijkkringgebieden 54 tot en met 95 langs de Maas onder de werking van de Wet op de waterkering. De waterkeringen die deze dijkkringgebieden omsluiten worden aangeduid als 'Maaskaden'; het betreft voornamelijk de waterkeringen die na de Maashoogwaters van 1993 en 1995 zijn aangelegd en die daarna deels in project De Maaswerken zijn versterkt. De gewijzigde wetstekst maakt niet speciaal melding van de Maaskaden, maar in de Bijlagen IA en IIA bij de Wet zijn de dijkkringgebieden 54 - 95 toegevoegd (zie ook Figuur 1.1 en Figuur 1.2 in het Centrale Gedeelte en Katern 1).

De toelichting bij de wetwijziging geeft twee hoofdredenen om de Maaskaden onder de werking van de Wet te plaatsen:

- de wet waarborgt dat het beschermingsniveau gehandhaafd wordt, ook als de rivierafvoer toeneemt;
- de wet waarborgt dat de bestaande regelingen ten aanzien van taken, verantwoordelijkheden, procedures en financiering ook gelden voor de Maaskaden, en scheidt daarmee duidelijkheid.

Daarnaast meldt de toelichting bij de wetwijziging dat de technische leidraden voor ontwerp, beheer en onderhoud én de regels voor het beoordelen van de primaire waterkering mede zullen worden afgestemd op de Maaskaden.

De grondslag van de beoordelingswijze in dit VTV2006 is ook toepasbaar voor de Maaskaden, en ook de uitwerking in beoordelingssporen, schema's en toetsingsregels is grotendeels niet anders. Maar er zijn een aantal redenen om speciaal aandacht te besteden aan de Maaskaden. Voor een deel betreft dit een wat verdere uitwerking van toetssporen ter ondersteuning van de beheerders. Maar ook de afwijkende ontstaansgeschiedenis van deze waterkeringen, de lagere norm, de specifieke belastingsituatie en de typische opbouw van de Maaskaden maken dat de toetsingsregels niet zonder meer toepasbaar zijn.

De beoordeling van de Maaskaden wijkt af van de beoordeling van overige primaire waterkeringen op de volgende onderdelen:

- de beoordeling van de Hoogte HT van dijken (**§ 4.1.2 van Katern 5**). Hierbij zijn de beoordelingen ten aanzien van overloop en golfoverslag afzonderlijk uitgewerkt. Deze werkwijze kan ook toegepast worden voor bepaalde kunstwerken, zoals demontabele keringen (**§ 4.2 van Katern 7**);
- de beoordeling van de Betrouwbaarheid Sluiting BS van kunstwerken (**§ 4.3 van Katern 7**), met name voor demontabele keringen;
- de uitwerking voor de beoordeling van het effect van pijpleidingen op de veiligheid van de waterkeringen (**§ 4.4 van Katern 10**).

Ten aanzien van de Maaskaden zijn de begrippen 'adequate overstroombaarheid' en 'beheersbare overstroombaarheid' geïntroduceerd:

- Bij het uitwerken van het project Maaswerken is het uitgangspunt gehanteerd dat de aanleg van de Maaskaden niet mocht leiden tot stijging van de Toetspeilen benedenstrooms van het projectgebied. Dit betekent dat bij grote afvoeren van de Maas de Maaskaden 'adequaaf' dienen te overstromen, waardoor de achterliggende dijkringgebieden 'meestromen' met het rivierbed. De controle of aan deze eis wordt voldaan vraagt een integrale beschouwing van het gehele riviertraject. Deze controle wordt uitgevoerd door de rivierbeheerder (Rijkswaterstaat Directie Limburg), in het kader van de vergunningverlening voor de Wet Beheer Rijkswaterstaatswerken (Wbr). Doordat deze controle buiten de beoordeling van de veiligheid van de waterkering valt, wordt hier verder geen aandacht aan besteed in dit voorschrift.
- De Maaskaden moeten bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/250 per jaar voldoen aan de norm. Middels de toetsingsregels in dit voorschrift wordt hierop beoordeeld. Vanwege de aanvullende eis van adequate overstroombaarheid zullen Maaskaden echter, anders dan andere primaire waterkeringen, bij waterstanden met een overschrijdingfrequentie hoger dan 1/250 per jaar overstromen. Deze overstroming moet op een beheersbare manier gebeuren om de kans op slachtoffers te beperken. De beheersbare overstroombaarheid heeft primair een relatie met de calamiteitenplannen van de waterschappen en gemeenten; deze moeten daarop afgestemd zijn. In het beheerdersoordeel dient de waterkeringbeheerder een oordeel te geven over de Beheersbare Overstroombaarheid van de kaden in zijn beheergebied.

Hoge gronden

(Hoofdstuk 3 van Katern 1, § 2.5 van Katern 2, § 2.3 van Katern 3 en hoofdstuk 6 van Katern 5)

In het VTV2004 zijn hoge gronden gedefinieerd als natuurlijk aanwezige hooggelegen delen in het landschap die niet worden bedreigd door een hoge waterstand (boven NAP + 2 m bij bedreiging vanaf zee en boven NAP + 1 m bij bedreiging vanaf het Markermeer). Deze definitie sluit niet aan op te hanteren Toetspeilen die hoger kunnen zijn dan respectievelijk NAP + 2 m en NAP + 1 m. Om deze reden is de definitie van hoge gronden aangepast.

In het VTV2004 zijn toetsregels opgenomen voor de aansluiting aan primaire waterkeringen en voor achterloopsheid. Volgens memorie van toelichting bij de Wet op de waterkering [1] zijn hoge gronden echter geen object van waterstaatszorg en worden dus niet getoetst. De behandeling van hoge gronden in het kader van de toets op de veiligheid is meer in overeenstemming gebracht met de wet. Dit betekent dat de toetsregels minder scherp gesteld zijn, maar dat nog steeds wel op toegezien moet worden dat hoge grond 'hoge grond' blijft. Dit biedt meer ruimte voor de provincie, als toezichthouder op de hoge gronden, om hierop toe te zien.

Gebruik van de toetsresultaten van de tweede toetsronde 2001-2006

(§ 2.1.2 van Katern 2)

Er zijn twee toetsronden uitgevoerd: 1996-2001 en 2001-2006. Na de eerste toetsronde is veel gewijzigd in de systematiek van toetsen en in de toetsingsregels. Ten behoeve van de derde toetsronde 2006-2011 zijn slechts enkele wijzigingen aangebracht in de toetsingsregels; de systematiek van toetsen is overgenomen uit het VTV2004.

Om deze reden is er grond om na te gaan in hoeverre toetsresultaten uit de tweede toetsronde 2001-2006 over te nemen zijn ten behoeve van de derde toetsronde. In hoofdstuk 2 van Katern 2 zijn hiervoor voorwaarden opgenomen.

Doordat gebruik gemaakt kan worden van toetsresultaten van de tweede toetsronde wordt ruimte geschapen om secties te beoordelen waarvoor in de vorige toetsronde geen score mogelijk was (focus op 'geen oordeel').

'Gedrag goed'

Daar waar in de beoordelingsschema's als laatste toetsstap een controle op het gedrag was opgenomen ('gedrag goed') is deze stap verwijderd. Deze stap was onder andere bedoeld om het resultaat volgens de toetsingsregels te controleren aan het waargenomen gedrag van de kering. Indien de kering andere gedrag vertoonde dan verwacht werd op grond van de toetsresultaten, was dit aanleiding om nog eens naar de toets te kijken. In de praktijk leidde deze stap tot veel onduidelijkheid, omdat het onderscheid tussen beheerdersoordeel en deze toetsstap lastig uit te leggen is en beheerders eventuele constatering gebruiken voor het opstellen en onderbouwen van het beheerdersoordeel. Het beheerdersoordeel is nu de plaats om kennis en ervaring over de kering te rapporteren.

In een aantal beoordelingschema's bij de toets van bekledingen is een toets op het gedrag als eerste toetsstap opgenomen. In deze gevallen is de toetsstap niet bedoeld als controle van de resultaten volgens de toetsingsregels, maar als eerste toetsstap en is deze toetsstap niet verwijderd.

Beheerdersoordeel

In hoofdstuk 6 van Katern 2 zijn handreikingen opgenomen voor het opstellen van het beheerdersoordeel.

Daarnaast wordt in het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46] het proces uitgewerkt ten aanzien van het toetsen, inclusief het meewegen van het beheerdersoordeel bij de totstandkoming van het definitieve oordeel.

Hydraulische randvoorwaarden

(Katern 4)

Doordat de Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006) [45] en het VTV2006 gelijktijdig vastgesteld worden, is de afstemming tussen beide verbeterd. Om deze reden is een gedeelte van Katern 4 Belastingen uit het VTV2004 opgenomen in HR2006 in plaats van in het VTV2006.

Beoordeling van de hoogte en macrostabiliteit van dijken en dammen

(§ 4.1, 4.2.3 en 4.2.4 en bijlage 5 - 1 van Katern 5)

- Bij de toets op hoogte wordt niet meer getoetst middels de Delftse formule. De toets met de Delftse formule was oorspronkelijk opgenomen om beheerders werk te besparen. Inmiddels kan er vanuit gegaan worden dat alle primaire waterkeringen tenminste eenmaal zijn ingemeten en is het rekenmodel Hydra beschikbaar voor alle watersystemen, waardoor de toets op de hoogte eenvoudig en snel uit te voeren is en de toets met de Delftse formule geen toegevoegde waarde meer heeft.
- Bij de toets op hoogte en macrostabiliteit van dijken en dammen is de dijkvakbenadering op een consistente wijze toegepast. Dit heeft geen consequenties voor de toets op de hoogte. De toets op macrostabiliteit is hierdoor ongunstiger ten opzichte van de toetsingsregels in het VTV2004 voor dijkkringgebieden in het benedenrivierengebied met een lengte van de primaire waterkeringen van de categorie a korter dan circa 60 km. 'Ongunstiger' houdt in dat de toetscriteria zwaarder geworden zijn.

Beoordeling van havendammen

(§ 5.2.6 van Katern 5)

De beoordeling van (steen)bekledingen van havendammen is aangepast aan nieuw verworven kennis en inzichten.

Beoordeling van de duinafslag van duinen

(Katern 6)

Nieuwe inzichten over het bepalen van de duinafslag zijn opgenomen in het Technisch Rapport Duinafslag (TRDA 2006) [49]. De hoofdlijn hieruit is in dit voorschrift opgenomen met verwijzingen naar [49].

Expliciete aandacht is gegeven aan het maatgevende afslagpunt, het gebruik van het grensprofiel, de effecten van kustsuppleties en de effecten van langstransport-gradiënten.

Het effect van duinvoetverdedigingen op de mate van duinafslag is in het VTV2004 als versturende verbijzondering op het reguliere duinafslag gepresenteerd. In de nieuwe versie is de behandeling van duinvoetverdedigingen meer separaat uitgewerkt.

De behandeling van de effecten van winderosie (beperkt tot die op de duinflank direct landwaarts van het grensprofiel) is, behoudens enkele tekstuele aanpassingen en actualiseringen, niet gewijzigd. Dit geldt ook voor de beoordeling van de aansluitingsconstructies.

Beoordeling van de hoogte en betrouwbaarheid sluiting van waterkerende kunstwerken

(§ 4.1 en 4.3 van Katern 7)

- De beoordeling van de hoogte en de betrouwbaarheid sluiting van waterkerende kunstwerken is in overeenstemming gebracht met de Leidraad Kunstwerken [26]. Hierdoor is de beoordeling duidelijker, zonder dat dit tot significant andere toetsresultaten leidt dan op grond van de toetsingsregels in het VTV2004.
- Toegevoegd is de beoordeling van een grasbekleding achter een 'droog' waterkerend kunstwerk. Een 'droog' waterkerend kunstwerk is een kunstwerk waar geen water aan de binnenzijde is. Te denken valt hierbij aan coupures en demontabele keringen langs de Maas.

Beoordeling van bekledingen

Steenzettingen (Hoofdstuk 2 van Katern 8)

- In het kader van het landelijk Onderzoek Steenbekledingen zijn nieuwe inzichten opgedaan en is nieuwe kennis ontwikkeld. Deze nieuwe kennis heeft betrekking op de beoordeling van de top laagstabiliteit onder golfaanval. Tevens zijn voor dit mechanisme toetsingsregels opgesteld voor bekledingen met Noorse steen en voor met asfalt ingegoten basaltbekledingen. Deze nieuwe inzichten en kennis zijn verwerkt in het rekenmodel STEENTOETS. Dit leidt niet tot significant andere testresultaten dan op grond van de toetsingsregels in het VTV2004, maar wel tot grotere strekkingen waarvoor een score kan worden toegekend.
- De kaders voor toepassing van de toets op langstroming zijn scherper gesteld, waardoor voor grotere strekkingen steenbekledingen een score kan worden toegekend, zonder dat dit tot significant andere toetsresultaten leidt.

Asfaltbekleding (Hoofdstuk 3 van Katern 8)

- De toets op sterkte van de asfaltbekleding is uitgebreid met een toets op breuksterkte door golfklap in aanvulling op de toets op vermoeiingssterkte. Dit leidt niet tot significant andere resultaten dan op grond van de toetsingsregels in het VTV2004, maar wel tot grotere strekkingen waarvoor een score kan worden toegekend.
- Het gebruik van resultaten van visuele inspectie en ander niet-destructief onderzoek is toegevoegd om gericht onderzoek te kunnen doen naar de sterkte van de asfaltbekleding.

Verbetering van de toepasbaarheid

Van de volgende onderdelen is de toepasbaarheid verbeterd:

- de beoordeling van hoge gronden (zie hierboven);
- het opstellen van het beheerdersoordeel (zie hierboven);
- het gebruik van toetsresultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie hierboven);
- de bepaling van de golfrandvoorwaarden in (voor)havens (**zie § 2.2.2 van Katern 4**). De regels voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden zijn niet aangepast, maar wel anders gepresenteerd;
- de beoordeling van de hoogte en betrouwbaarheid sluiting van waterkerende kunstwerken (zie hierboven);
- de beoordeling van steen- en asfaltbekledingen (zie hierboven);
- de beoordeling op zettingsvloeiing. De toetsingsregels zijn niet aangepast, maar wel anders gepresenteerd (**Katern 9**).

5 Leeswijzer

- In het Centrale Gedeelte wordt algemene informatie gegeven over het beoordelen van de veiligheid van primaire waterkeringen tegen overstromen en over dit voorschrift.
- In Katern 1 wordt een beschrijving gegeven van de dijkkringgebieden, de verschillende categorieën primaire waterkeringen en hoge gronden. Tevens wordt de wettelijke norm aangegeven waaraan de primaire waterkering moet voldoen.
- In Katern 2 wordt aangegeven op welke wijze de veiligheid van een waterkering dient te worden beoordeeld. In Appendix B wordt hiervoor een handreiking voor een draaiboek gegeven.
- In Katern 3 worden richtlijnen gegeven voor de presentatie van de veiligheidsbeoordeling.
- In Katern 4 wordt aangegeven met welke belastingen rekening moet worden gehouden bij het beoordelen van de veiligheid tegen overstromen.
- In de Katern 5 tot en met Katern 7 wordt voor verschillende types waterkeringen (dijk, dam, duin, kunstwerk) aangegeven op welke wijze de waterkering dient te worden beoordeeld. Hierbij wordt voor de in rekening te brengen belasting verwezen naar Katern 4 en naar HR2006. Voor de deelaspecten bekleding, voorland en niet-waterkerende objecten wordt verwezen naar respectievelijk Katern 8, Katern 9 en Katern 10.
- In Katern 11 is een overzicht gegeven van de literatuur en rekenmodellen waarnaar verwezen wordt in dit voorschrift.
- In Katern 12 is een overzicht gegeven van de begrippen, afkortingen en symbolen waarvan gebruik gemaakt wordt in dit voorschrift.
- In Appendix A is een verwijzing naar de Wet op de waterkering opgenomen.

M
m

Daar waar in de tekst speciaal aandacht gevraagd wordt voor de beoordeling van de Maaskaden wordt dit kenbaar gemaakt middels een hoofdletter 'M' in de marge aan het begin van de tekst, een kleine letter 'm' aan het einde van de tekst en een kantlijn.

In de tekst worden literatuurverwijzingen weergegeven door rechte haken [...].

6 Errata, wijzigingen en aanvullingen

Errata, wijzigingen en aanvullingen op dit voorschrift worden bekend gemaakt in de Nieuwsbrief Waterkeren en op de internetpagina van de Helpdesk Water.

De [Helpdesk Water](#) is als volgt bereikbaar:

Postadres:	Postbus 17 8200 AA Lelystad
Telefoon:	0800-NLWATER 0800-659 28 37
E-mail:	contact@helpdeskwater.nl
Internet:	www.helpdeskwater.nl

Via de periodiek van de ENW, de ENW Infostroom, en de internetpagina van de ENW (www.enwinfo.nl) worden ontwikkelingen ten aanzien van TAW/ENW-publicaties, zoals leidraden en technische rapporten, bekend gemaakt.

7 Totstandkoming van dit voorschrift

Dit voorschrift Toetsen op Veiligheid is opgesteld in opdracht van het Directoraat-Generaal Water van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W).

Dit voorschrift is gerealiseerd door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat onder toezicht van een klankbordgroep, die als volgt was samengesteld:

Ir. P. van den Berg voorzitter	Hoogheemraadschap van Rijnland
Dr. ir. H.E.J. Berger	Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
Ir. P.J.L. Blommaart	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Ir. J.J. Flikweert	Royal Haskoning
Drs. C. van Gelder-Maas ¹	Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee
Ir. F. den Heijer ²	Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee
Ir. E. van Hijum	Infram B.V.
Ir. M. Klein Breteler	WL Delft Hydraulics
Ir. M.T. van der Meer	Fugro Ingenieursbureau B.V.
Ing. M.L.M. Rademaker	Waterschap Rivierenland
H.A. Schelfhout	GeoDelft
Ir. B.I. Thonus secretaris en redacteur	HKV <u>LIN IN WATER</u> B.V.
Ing. M.J.L. de Vos (M.Sc.)	Provincie Gelderland
Ir. A.F. Wolters	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Voor de opstelling van dit voorschrift is de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat ondersteund door Dhr. L.W. van Nieuwenhuijzen (M.Sc.) van Royal Haskoning.

M

In eerste aanzet is de beoordeling van de Maaskaden beschreven in een apart addendum op het VTV: het Voorschrift Toetsen Maaskaden (VTM2006) [44]. Uiteindelijk is het VTM2006 integraal opgenomen in het VTV2006, dit voorschrift.

¹ Vanaf 1 april 2007

² Tot 1 april 2007

Het VTM2006 is opgesteld door Royal Haskoning in opdracht van en in samenwerking met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat. Daarbij is nauw afgestemd met de volgende organisaties:

- waterschap Peel en Maasvallei;
- waterschap Roer en Overmaas;
- Rijkswaterstaat Limburg;
- Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling;
- Project De Maaswerken;
- Directoraat-Generaal Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

m

Deze afstemming heeft onder meer plaatsgevonden via een werkgroep van betrokkenen uit Limburg, een klankbordgroep van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) en de uitwerking van een aantal case studies.

Katern 1

Dijkkringgebieden en primaire waterkeringen

1 Dijkringgebieden en wettelijke norm

Een dijkringgebied is in de Wet op de waterkering [1] gedefinieerd als 'een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer, bij hoog water van het Markermeer of bij een combinatie daarvan'. Onder 'grote rivieren' worden hier verstaan de Rijn, de Maas en hun takken en de Overijsselse Vecht en onder 'opperwater' wordt buitenwater verstaan. De genoemde watersystemen worden samengevat onder de term buitenwater. Het 'stelsel van waterkeringen' waarvan sprake is in de definitie van een dijkringgebied kan bestaan uit primaire waterkeringen (door de mens aangelegd) en natuurlijk aanwezige hoog gelegen delen in het landschap (hoge gronden).

De globale ligging van de dijkringgebieden is aangegeven in Bijlage I en IA bij de Wet en weergegeven in Figuur 1.1 en Figuur 1.2 van het Centrale Gedeelte van dit voorschrift. Het VTV2006 is van toepassing op alle dijkringgebieden uit Bijlage I en IA bij de Wet, inclusief de dijkringgebieden langs de Limburgse Maas (dijkringgebied 54 t/m 95).

Aan ieder dijkringgebied wordt door de Wet een norm toegekend. Deze wettelijke norm is gegeven in Artikel 3 van de Wet en Bijlage II en IIA bij de Wet. De vertaling naar hiermee samenhangende belastingen en overige maatgevende factoren is beschreven in de Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011[45] en in Katern 4 van dit voorschrift.

2 Primaire waterkeringen

Een 'primaire waterkering' is een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen, of twee dijkkringgebieden met elkaar verbindt.

De globale ligging van de primaire waterkeringen en de hoge gronden is globaal aangegeven in Bijlage I en IA bij de Wet en in Figuur 1.1 en Figuur 1.2 van het Centrale Gedeelte. De precieze ligging van de primaire waterkering en de eventuele aansluiting op de hoge gronden is door de beheerder op een overzichtskaart aangegeven conform artikel 13 van de Wet.

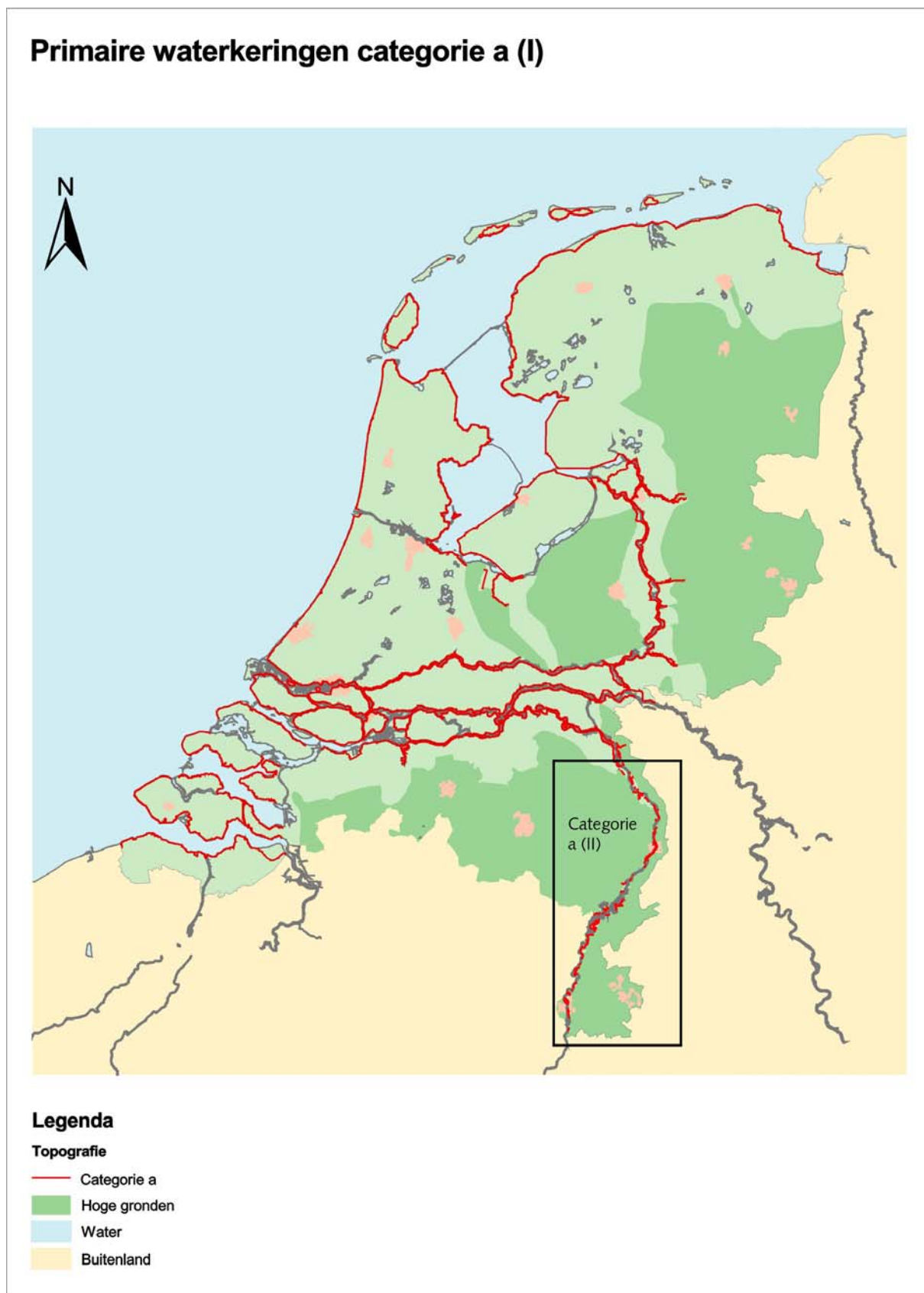
In dit voorschrift wordt voor de primaire waterkeringen uitgegaan van de volgende indeling in categorieën:

- a. primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden - al dan niet met hoge gronden - omsluiten en direct buitenwater keren. De globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie a is aangegeven in Figuur 1 - 2.1 en Figuur 1 - 2.2;
- b. primaire waterkeringen die voor dijkkringgebieden zijn gelegen of dijkkringgebieden verbinden en direct buitenwater keren. De globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie b is aangegeven in Figuur 1 - 2.3 en een overzicht van de primaire waterkeringen van de categorie b is gegeven in Tabel 1 - 2.1;
- c. primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden - al dan niet met hoge gronden - omsluiten en niet bestemd zijn tot directe kering van buitenwater. De globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie c is aangegeven in Figuur 1 - 2.4;
- d. primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden - al dan niet met hoge gronden - omsluiten (als categorie a en c) of die voor dijkkringgebieden zijn gelegen of dijkkringgebieden verbinden (als categorie b), maar gelegen buiten de landsgrenzen. De globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie d is aangegeven in Figuur 1 - 2.5.

Langs de Maas (Maaskaden) komen geen primaire waterkeringen van de categorie b, c of d voor. Om deze reden is hiervoor geen aparte figuur opgenomen, zoals bij de primaire waterkeringen van de categorie a (zie Figuur 1 - 2.2).

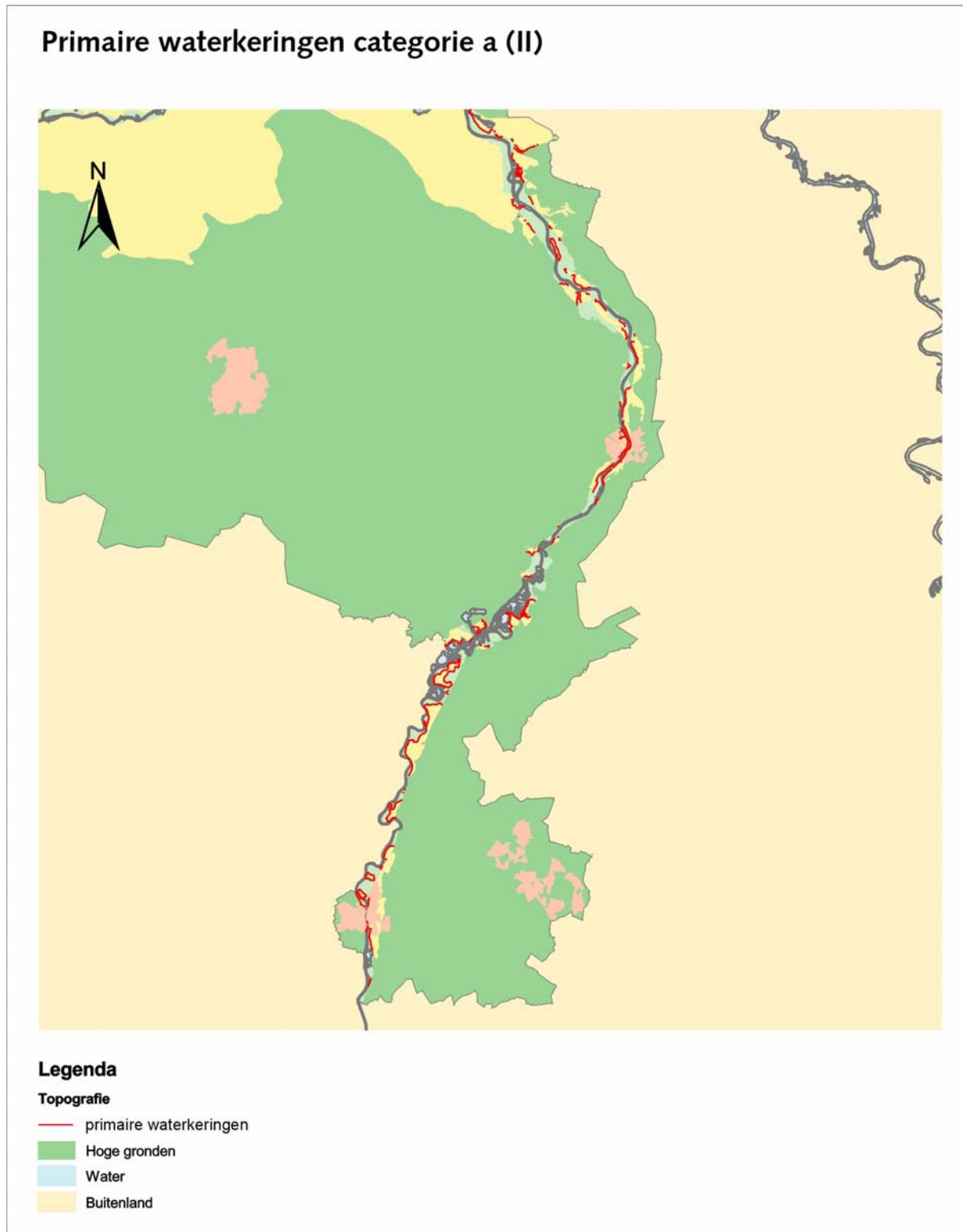
De ligging van de primaire waterkeringen in de figuren op de hierna volgende pagina's is indicatief. De exacte ligging is aangegeven op de door de beheerder vastgestelde overzichtskaart, legger en beheersregister.

Figuur 1 - 2.1
Globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie a



Figuur 1 - 2.2

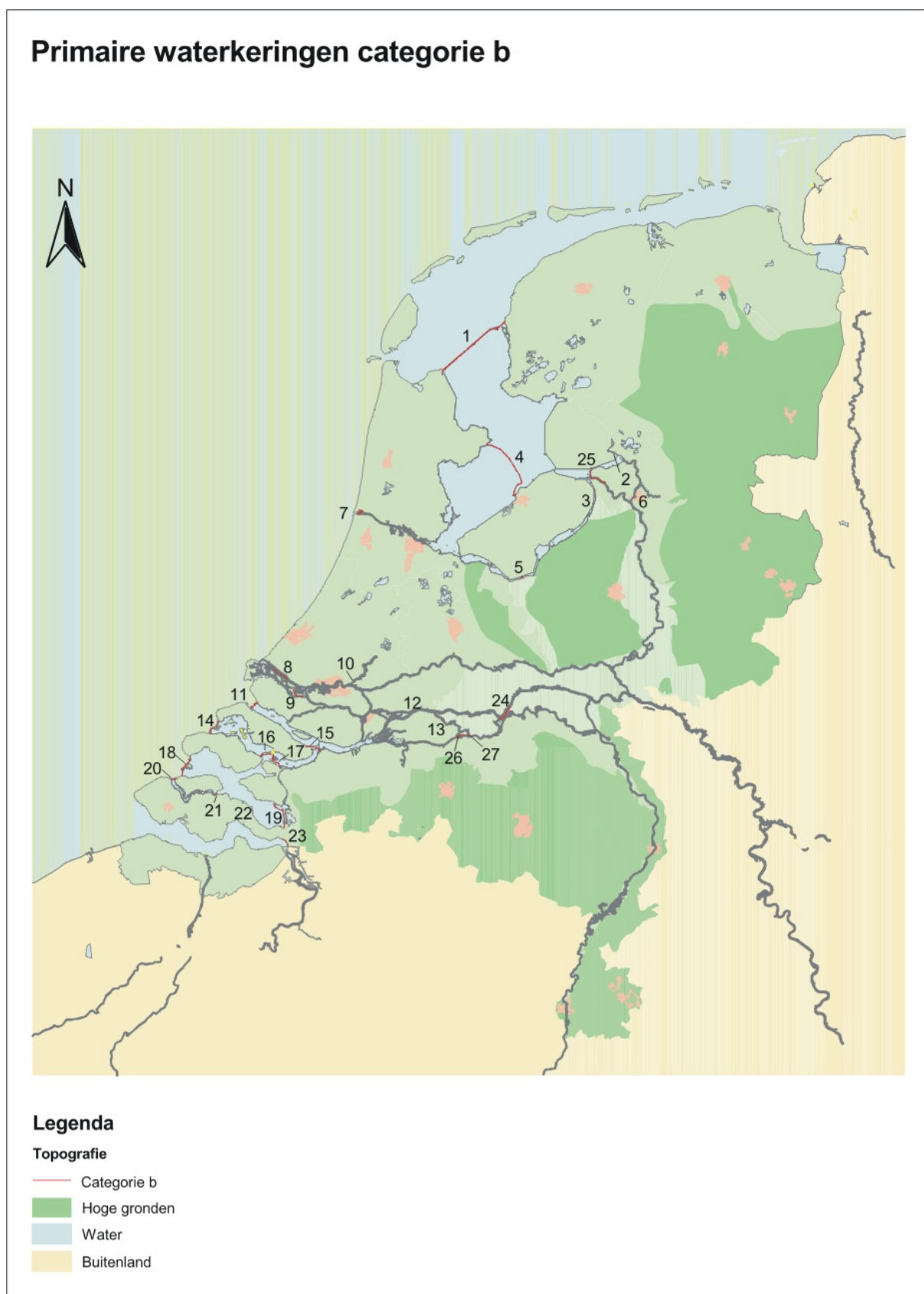
Globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie a langs de Limburgse Maas



Alle primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden langs de Limburgse Maas omsluiten (dijkkringgebieden 54 tot en met 95) zijn van de categorie a.

Figuur 1 - 2.3

Globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie b



De nummers in Figuur 1 - 2.3 verwijzen naar Tabel 1 - 2.1 op de volgende pagina.

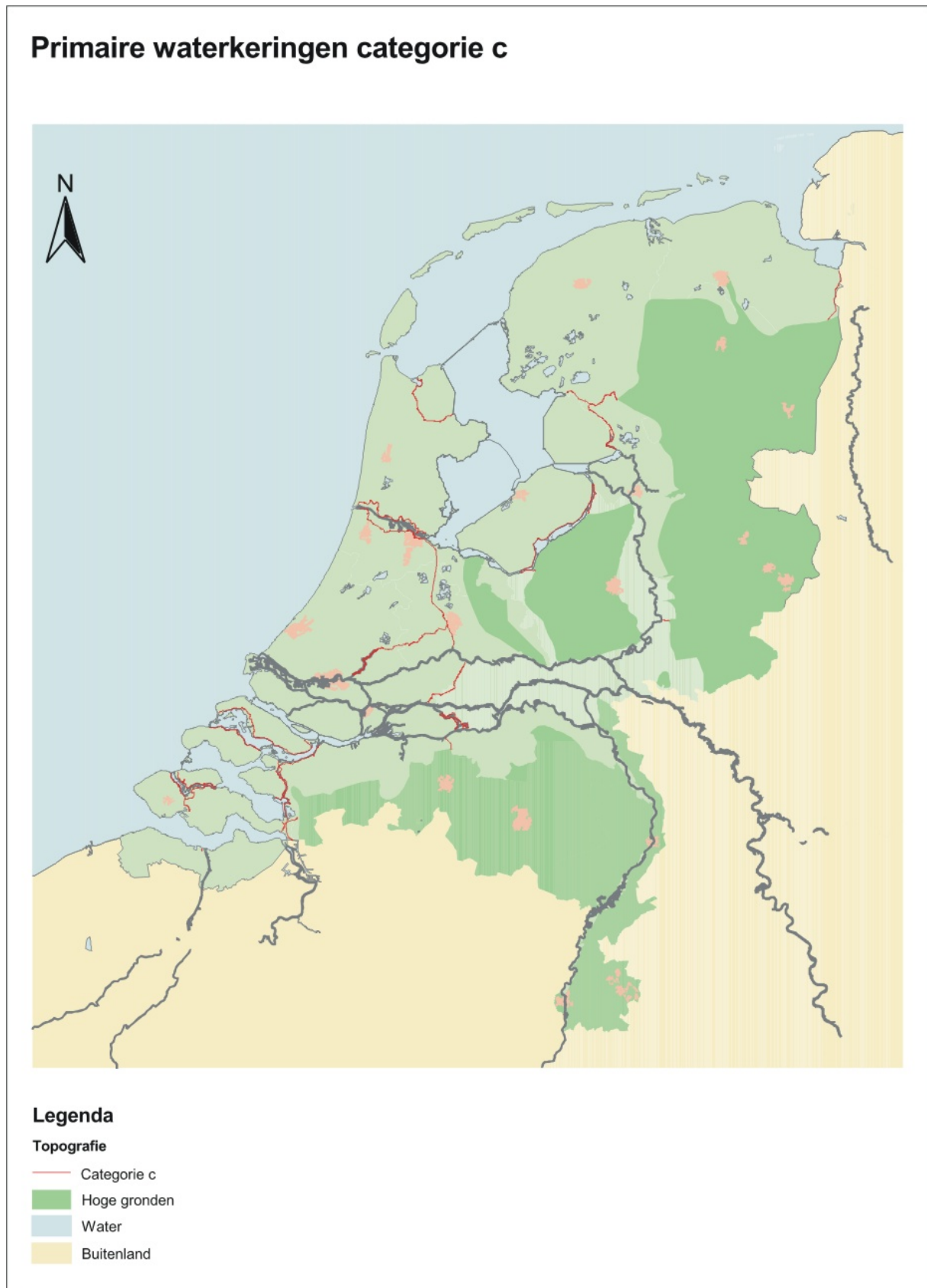
.....
Tabel 1 - 2.1

Overzicht van de Primaire waterkeringen van de categorie b

Nr	Naam	Frequentie	Dijkring- gebieden		Buitenwater
1	Afsluitdijk	1/10.000	6	12	Waddenzee
2	Kadoelersluis	1/4.000	7	9	Zwarte Meer
3	Roggebotsluis	1/4.000	8	11	Vossemeer
4	Houtribdijk	1/10.000	8	13	IJsselmeer, Markermeer
5	Nijkerkersluis	1/4.000	8	45	Nijkerkernauw
6	Spoldersluis	1/2.000	10	53	IJssel
7	Sluizen IJmuiden	1/10.000	13	14	Noordzee
8	SVK Nieuwe Waterweg / Europoortkering I	1/10.000	14	19	Noordzee (via Nieuwe Waterweg en Calandkanaal)
9	Europoortkering II / Hartelkering	1/10.000	19	20	Noordzee (via Hartelkanaal)
10	SVK Hollandsche IJssel	1/10.000	14	15	Nieuwe Maas
11	Haringvlietdam	1/4.000	20	25	Noordzee
12	Biesboschsluis	1/2.000	23	24	Nieuwe Merwede
13	Wilhelminasluis	1/2.000	24	38	Waal/Boven Merwede (via Maas)
14	Brouwersdam	1/4.000	25	26	Noordzee
15	Hellegatsdam en Volkeraksluizen	1/4.000	25	34	Hollandsch Diep/ Haringvliet
16	Grevelingendam	1/4.000	25	26	Oosterschelde
17	Philipsdam	1/4.000	25	27	Oosterschelde
18	SVK Oosterschelde	1/4.000	26	28	Noordzee
19	Oesterdam	1/4.000	27	31	Oosterschelde
20	Veersedam	1/4.000	28	29	Noordzee
21	Zandkreekdam	1/4.000	28	30	Oosterschelde
22	Sluizen kanaal Zuid- Beveland- Hansweert	1/4.000	30	31	Westerschelde
23	Zeedijk Paviljoenpolder	1/4.000	31	België	Westerschelde
24	Heerewaardense Afsluitdijk en Schutsluis St. Andries	1/2.000	41	38	Waal
25	Ramspolkering	1/2.000	7	10	Ketelmeer
26	Keersluis Heusdensch kanaal	1/2.000	24	38	Bergsche Maas
27	Bergse Maasdijk	1/2.000	37	38	Maas, Bergsche Maas

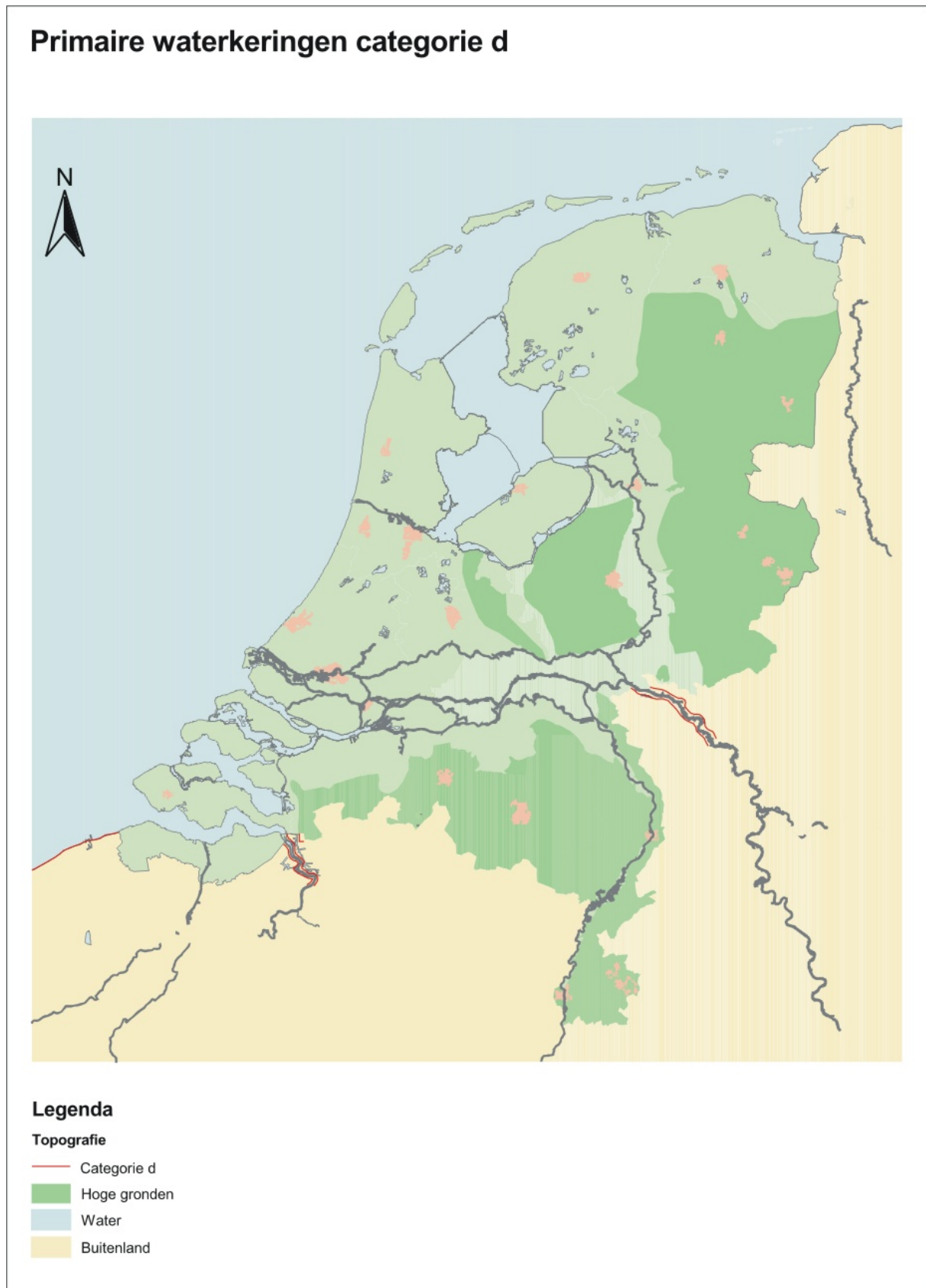
Figuur 1 - 2.4

Globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie c



Figuur 1 - 2.5

Globale ligging van de primaire waterkeringen van de categorie d



3 Hoge gronden

Hoge gronden zijn gedefinieerd als natuurlijke hoge delen in het landschap die niet overstromen bij maatgevend hoogwater en die als zodanig globaal zijn aangegeven in bijlagen I en IA bij de Wet op de waterkering [1] (zie ook Figuur 1.1 en Figuur 1.2 in het Centrale Gedeelte). De exacte ligging is niet van belang, aangezien hoge grond volgens de Wet geografische gegevens zijn die niet getoetst worden. Er dient alleen voor gewaakt te worden dat hoge grond 'hoge grond' blijft.

De exacte ligging van de aansluiting van de primaire waterkering aan de hoge grond is wel van belang en is aangegeven op de overzichtskaart en de legger van de beheerder van de primaire waterkering.

Bovenstaande betekent dat hooggelegen delen in het landschap die niet zijn aangegeven als hoge grond in bijlage I en IA bij de Wet, zoals vestingsteden en forten, niet als hoge grond beschouwd worden, maar dat deze - als ze onderdeel uitmaken van het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit - aangemerkt moeten worden als primaire waterkering en dus als zodanig getoetst dienen te worden.

Katern 2

Beoordeling van de veiligheid

1 Inleiding

De toetsing op veiligheid van een dijkkringgebied bestaat uit het zo goed mogelijk bepalen van de sterkte van het keringstelsel en het vergelijken daarvan met de bij de wettelijke norm behorende belastingen.

Hiervoor wordt de primaire waterkering die deel uitmaakt van het stelsel dat het dijkkringgebied omsluit opgedeeld in secties. Per sectie wordt de sterkte vergeleken met de daarbij behorende belasting. Aan de vereiste veiligheid tegen overstromen van het dijkkringgebied wordt voldaan wanneer **alle secties** bestand blijken te zijn tegen de bij de normfrequentie behorende waterstanden en overige maatgevende belastingen en factoren.

In de Wet is de veiligheidsnorm aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand waarop elke keringsectie afzonderlijk moet zijn berekend, met inachtneming van overige het waterkerend vermogen bepalende maatgevende factoren zoals: lagere waterstanden, golven, stromingen, slingeringen in de waterstand, stormduur en sterkte-eigenschappen van kering en ondergrond. In dit voorschrift is uitgegaan van een benadering per sectie (dijkvakbenadering) voor de berekening van het waterkerend vermogen.

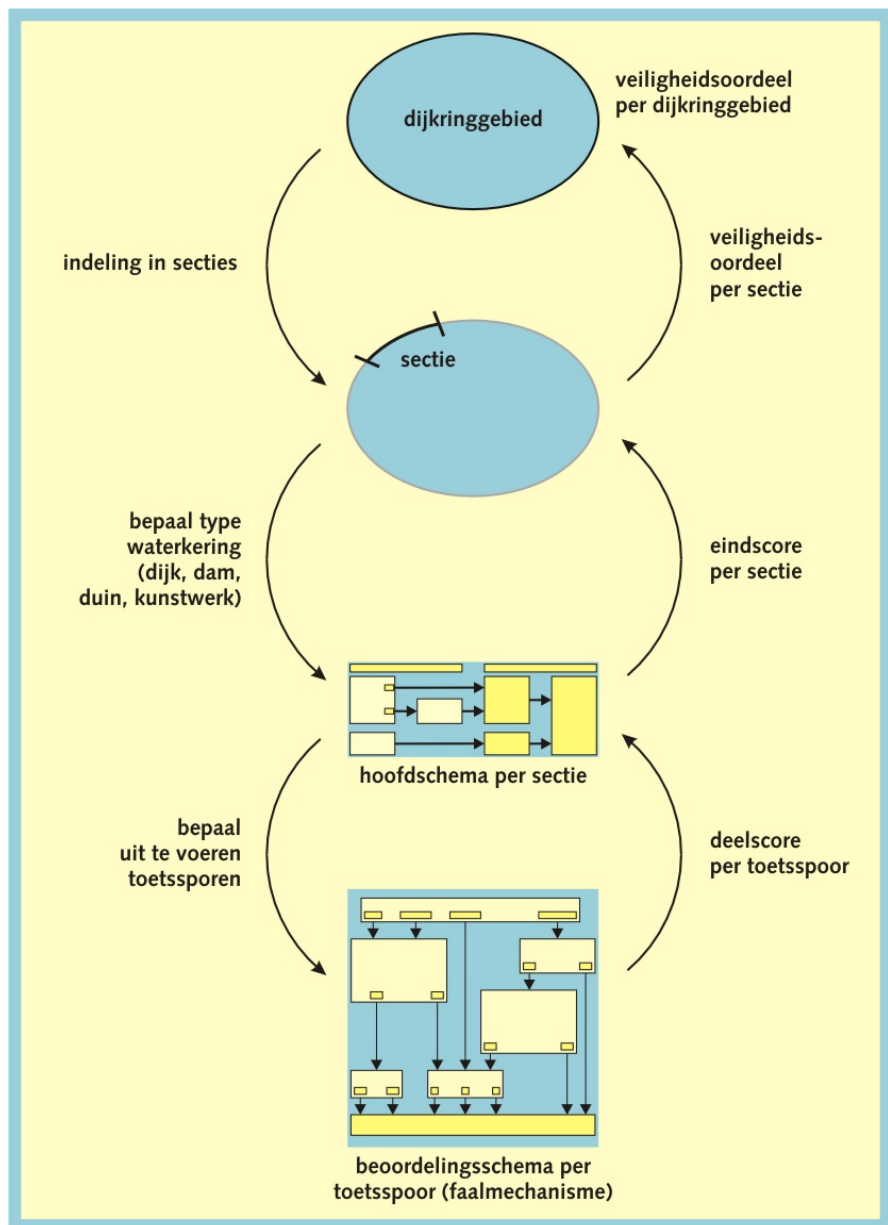
Voor de toetsing zijn de toestandskenmerken nodig van de primaire waterkering die deel uitmaakt van het stelsel dat het dijkkringgebied omsluit. Deze zijn te vinden in het beheersregister (actuele toestand/kwaliteit van alle functies) en de legger (vereiste toestand van alle functies: richting, inrichting, vorm, afmeting en constructie). Het toetsen op veiligheid zal vaak niet kunnen bestaan uit een simpele vergelijking van legger en beheersregister. De legger heeft soms een praktische of historische achtergrond in plaats van een technische op basis van ontwerpberoeeningen. Is een technische onderbouwing conform de ontwerpleidraden wel aanwezig dan kunnen op grond daarvan conclusies worden getrokken met betrekking tot de veiligheid tegen overstromen.

De toetsing betreft de beoordeling van de toestand van de waterkering op de peildatum.

2 Beoordelingswijze

De beoordeling van de veiligheid tegen overstromen van een dijkkringgebied door hoog buitenwater gebeurt stapsgewijs. Voor een dijkkringgebied, omsloten door een stelsel van primaire waterkeringen en hoge gronden is dit schematisch weergegeven in Figuur 2 - 2.1.

Figuur 2 - 2.1
Beoordelingswijze voor primaire waterkeringen



Begonnen wordt met het opdelen van het stelsel primaire waterkeringen en hoge gronden dat het dijkringgebied omsluit naar categorieën primaire waterkering (a, b, c en d) en hoge grond. Vervolgens wordt de primaire waterkering verder opgedeeld in secties, zoals beschreven in hoofdstuk 3 van dit katern.

Per sectie wordt het type primaire waterkering bepaald. De te onderscheiden types zijn: dijk en dammen, waterkerende kunstwerken, duinen en de aansluitconstructies tussen deze types. De Maaskaden omvatten dijken, waterkerende kunstwerken en de aansluitconstructies tussen deze types. Het hoofdschema voor het beoordelen van de veiligheid van deze secties is te vinden in Katern 5 voor dijken en dammen, in Katern 6 voor duinen en in Katern 7 voor waterkerende kunstwerken. De plaats in dit voorschrift van de behandeling van de aansluitconstructies is aangegeven in Tabel 2 - 4.2.

In het hoofdschema per type waterkering zijn de methodes (toetsingsregels en beheerdersoordeel) en de toetssporen aangegeven, waarop de veiligheid beoordeeld moet worden met gebruik van de toetsingsregels uit dit voorschrift. Per toetsspoor wordt een beoordelingsschema doorlopen om te komen tot een (deel)score volgens de toetsingsregels in dit voorschrift.

De deelscores per toetsspoor worden samengevoegd in het hoofdschema per type waterkering om te komen tot een eindscore per sectie volgens de toetsingsregels.

Indien het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregels moet een afweging worden gemaakt om tot de eindscore voor de sectie te komen. Deze afweging wordt uitgewerkt in het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46].

De eindscore per sectie wordt per sectie vertaald naar een veiligheidsoordeel:

- de eindscores 'goed' en 'voldoende' voor de sectie worden vertaald naar het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' voor diezelfde sectie;
- de eindscore 'onvoldoende' voor de sectie wordt vertaald naar het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm' voor diezelfde sectie.

Als laatste stap worden de veiligheidsoordelen per sectie samengevoegd tot een veiligheidsoordeel voor het dijkringgebied, waarbij het slechtste veiligheidsoordeel per sectie tevens het veiligheidsoordeel voor het dijkringgebied is.

In geval van een primaire waterkering van de categorie b (voorliggende of verbindende waterkering) wordt de waterkering opgedeeld in secties waarna dezelfde stappen worden doorlopen als voor een primaire waterkering die een dijkringgebied omsluit. De veiligheidsoordelen per sectie worden samengevoegd tot een veiligheidsoordeel voor de gehele primaire waterkering van de categorie b.

Bovenbeschreven gang van zaken wordt in de volgende paragrafen uitgewerkt per type waterkering.

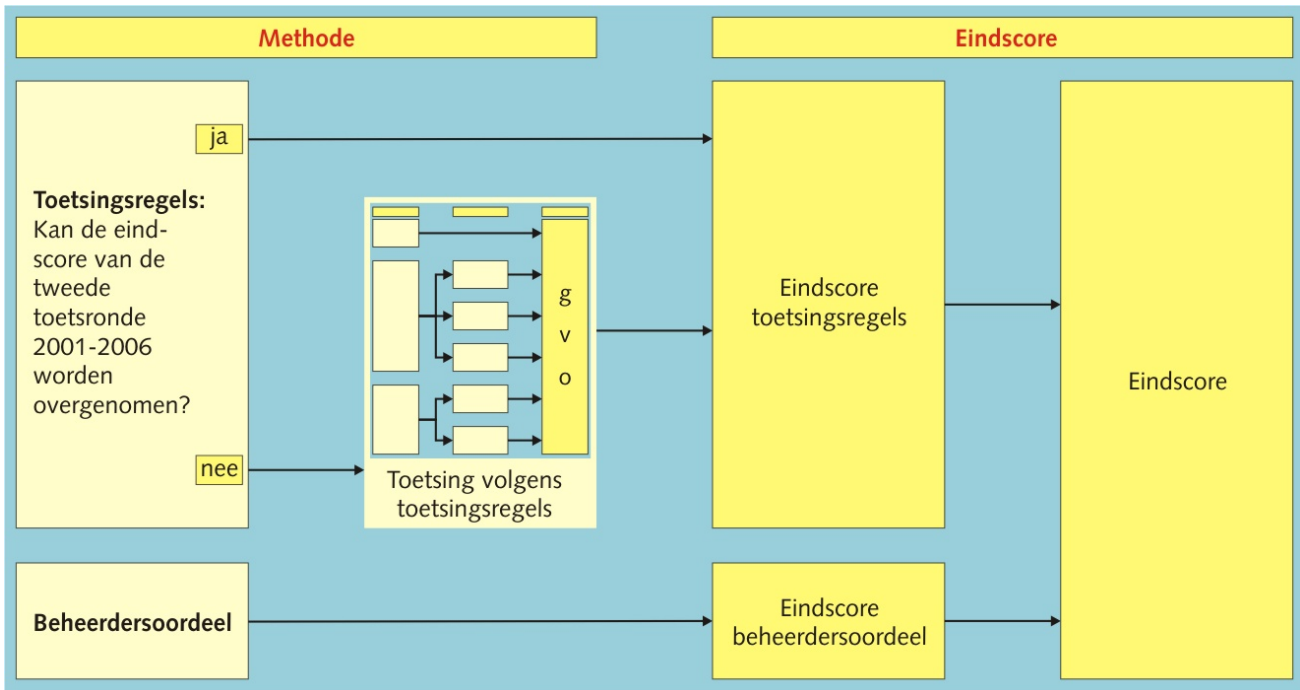
2.1 Primaire waterkeringen van de categorie a

2.1.1 Beoordelingswijze per sectie

Nadat de dijkring is ingedeeld in secties (zie Figuur 2 - 2.1), worden per sectie twee eindscores bepaald: een eindscore gebaseerd op de toetsingsregels in dit voorschrift en het beheerdersoordeel. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2 - 2.2.

.....
Figuur 2 - 2.2

Hoofdschema per sectie voor de beoordeling van primaire waterkeringen van de categorie a en b



Het hoofdschema moet in zijn geheel doorlopen worden, opdat voor beide methodes - toetsingsregels en beheerdersoordeel - een eindscore toegekend kan worden. Per sectie wordt de eindscore van beide methodes gerapporteerd.

In de rapportage van de toetsing (zie Katern 3) wordt de eindscore per sectie vertaald naar een veiligheidsoordeel (zie Figuur 2 - 2.1).

Volgens de Wet [1] moeten de primaire waterkeringen iedere vijf jaar getoetst worden met gebruik van de toetsingsregels in dit voorschrift. Dit houdt echter niet noodzakelijkerwijs in dat voor alle primaire waterkeringen iedere toetsronde een volledige beoordeling volgens de toetsingsregels uitgevoerd dient te worden. Onder voorwaarden kan voor een sectie de eindscore volgens de toetsingsregels van de tweede toetsronde 2001-2006 worden overgenomen (zie § 2.1.2 van dit katern). De eindscore volgens de toetsingsregels van de tweede toetsronde 2001-2006 is dan de eindscore volgens de toetsingsregels van de derde toetsronde 2006-2011.

Het opstellen van het beheerdersoordeel is beschreven in hoofdstuk 6 van dit katern.

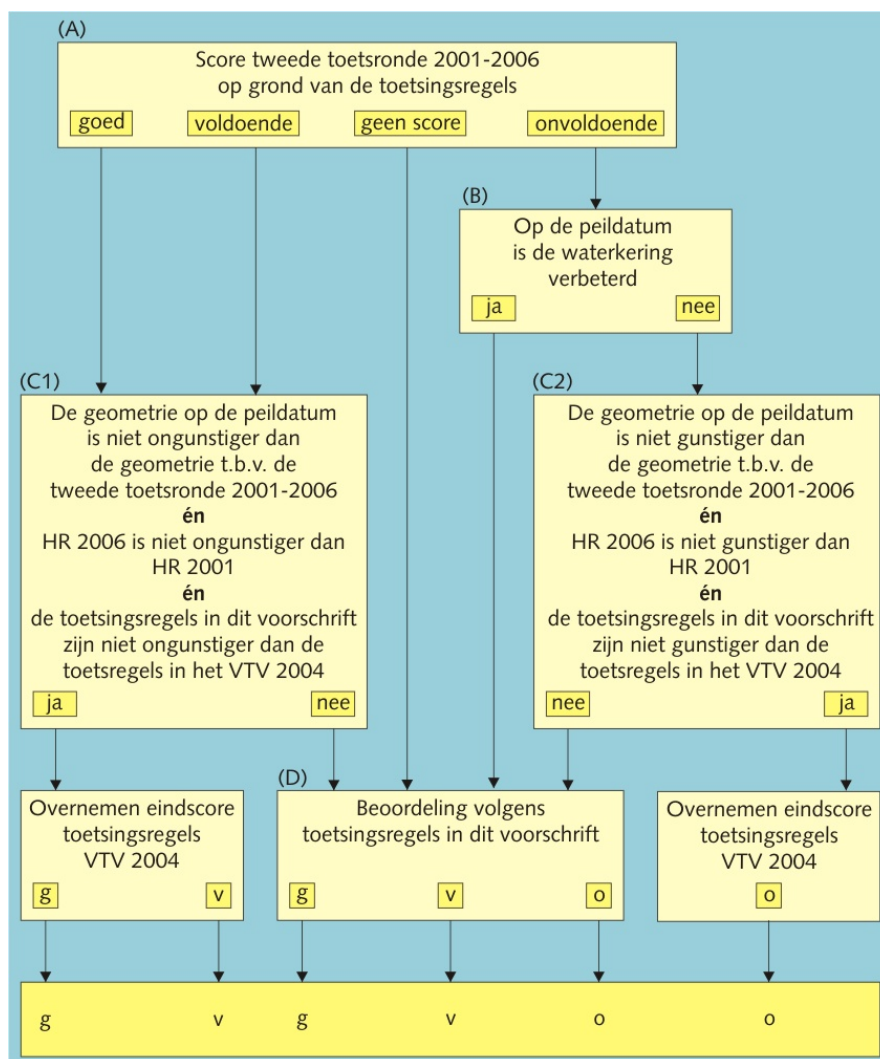
De wijze waarop de uiteindelijke eindscore tot stand komt, als een keuze tussen de eindscore volgens de toetsingsregels en de eindscore volgens het beheerdersoordeel, is beschreven in § 6.3 van dit katern.

2.1.2 Voorwaarden voor gebruik van resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006

Hierna wordt stapsgewijs beschreven aan welke voorwaarden voldaan moet worden om de eindscore van de sectie van de primaire waterkering volgens de toetsingsregels van de tweede toetsronde 2001-2006 over te nemen als eindscore volgens de toetsingsregels van de derde toetsronde 2006-2011 (zie ook Figuur 2 - 2.3).

Figuur 2 - 2.3

Voorwaarden voor gebruik van de eindscore per sectie volgens de toetsingsregels uit de tweede toetsronde 2001-2006



Stap A: Eindscore toegekend in de tweede toetsronde 2001-2006

Nagegaan wordt of aan de sectie van de primaire waterkering in de tweede toetsronde 2001-2006 een eindscore is toegekend op grond van de toetsingsregels in het VTV2004. Hiermee worden niet bedoeld de eindscore 'geen oordeel' en het beheerdersoordeel.

Indien in de tweede toetsronde:

- de eindscore 'goed' of 'voldoende' is toegekend aan de sectie, dan wordt vervolgens nagegaan of voldaan is aan de voorwaarden in stap C1;
- de eindscore 'onvoldoende' is toegekend aan de sectie, dan wordt vervolgens nagegaan of voldaan is aan de voorwaarde in stap B;
- geen eindscore kon worden toegekend aan de sectie op grond van de toetsingsregels in het VTV2004, dan dient een beoordeling te worden opgesteld op grond van de toetsingsregels in dit voorschrift (stap D).

Stap B: Waterkering is verbeterd op de peildatum

Nagegaan wordt of de sectie van de primaire waterkering, die in de tweede toetsronde de eindscore 'onvoldoende' toegekend heeft gekregen op grond van de toetsingsregels in het VTV2004, is verbeterd op de peildatum van de derde toetsronde 2006-2011.

Indien de primaire waterkering is verbeterd op de peildatum, dan wordt de verbeterde primaire waterkering beoordeeld op grond van de toetsingsregels in dit voorschrift. Een van de stappen bij de beoordeling volgens de toetsingsregels is de controle op het gebruik van ontwerpregels en ontwerpvoorwaarden: indien aangetoond kan worden dat de verbetering is ontworpen volgens de vigerende leidraden of gelijkwaardig en de ontwerpvoorwaarden ongunstiger zijn dan de toetsvoorwaarden kan direct de eindscore 'goed' toegekend worden aan de sectie. Zo niet, dan zal alsnog een volledige beoordeling volgens de toetsingsregels in dit voorschrift uitgevoerd dienen te worden (stap D).

Indien de primaire waterkering die in de tweede toetsronde de eindscore 'onvoldoende' toegekend heeft gekregen op grond van de toetsingsregels in het VTV2004 niet is verbeterd op de peildatum van de derde toetsronde 2006-2011 wordt nagegaan of voldaan is aan de voorwaarden in stap C2.

Stap C: Overnemen eindscore van de sectie van tweede toetsronde

Stap C1: Eindscore tweede toetsronde was 'goed' of 'voldoende'

Nagegaan wordt of de eindscore van de tweede toetsronde van de sectie mag worden overgenomen als eindscore van de derde toetsronde. Hiervoor moet aan drie voorwaarden worden voldaan:

- de geometrie op de peildatum van de derde toetsronde 2006-2011 is niet ongunstiger dan de geometrie op de peildatum van de tweede toetsronde 2001-2006. Ten aanzien van de hoogte is een lagere kruinhoogte ongunstig en ten aanzien van de stabiliteit is bijvoorbeeld een steiler talud ongunstig;
- de hydraulische randvoorwaarden 2006 zijn niet ongunstiger (zwaarder) dan de hydraulische randvoorwaarden 2001. De hydraulische randvoorwaarden zijn een combinatie van waterstand (Toetspeil) en golven. In het algemeen zijn een hoger Toetspeil, hogere golven en een langere golfperiode ongunstig;
- de toetsingsregels in dit voorschrift zijn niet ongunstiger dan de toetsingsregels in het VTV2004. Een overzicht van de wijzigingen ten opzichte van de toetsingsregels in het VTV2004 en de consequenties is opgenomen in hoofdstuk 4 van het Centrale Gedeelte van dit voorschrift.

Daarnaast zijn er - naar het oordeel van de beheerder - geen aanwijzingen om aan de eindscore volgens de toetsingsregels in het VTV2004 te twijfelen.

Indien aantoonbaar aan alle voorwaarden is voldaan, wordt de eindscore 'goed' of 'voldoende' volgens de toetsingsregels van het VTV2004 overgenomen als eindscore volgens de toetsingsregels van dit voorschrift.

Indien niet aan alle voorwaarde is voldaan dient alsnog een volledige beoordeling uitgevoerd te worden volgens de toetsingsregels in dit voorschrift (stap D).

Stap C2: Eindscore tweede toetsronde was 'onvoldoende'

Nagegaan wordt of de eindscore van de tweede toetsronde van de sectie mag worden overgenomen als eindscore van de derde toetsronde. Hiervoor moet aan drie voorwaarden worden voldaan:

- de geometrie op de peildatum van de derde toetsronde 2006-2011 is niet gunstiger dan de geometrie op de peildatum van de tweede toetsronde 2001-2006. Ten aanzien van de hoogte is een hogere kruinhoogte gunstig en ten aanzien van de stabiliteit is bijvoorbeeld een flauwer talud ongunstig;

-
- de hydraulische randvoorwaarden 2006 zijn niet gunstiger (lichter) dan de hydraulische randvoorwaarden 2001. De hydraulische randvoorwaarden zijn een combinatie van waterstand (Toetspeil) en golven. In het algemeen zijn een lager Toetspeil, lagere golven en een kortere golfperiode gunstig;
 - de toetsingsregels in dit voorschrift zijn niet gunstiger dan de toetsingsregels in het VTV2004. Een overzicht van de wijzigingen ten opzichte van de toetsingsregels in het VTV2004 en de consequenties is opgenomen in hoofdstuk 4 van het Centrale Gedeelte van dit voorschrift.

Daarnaast zijn er - naar het oordeel van de beheerder - geen aanwijzingen om aan de eindscore volgens de toetsingsregels in het VTV2004 te twijfelen.

Indien aantoonbaar aan alle voorwaarden is voldaan, wordt de eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels van het VTV2004 overgenomen als eindscore volgens de toetsingsregels van dit voorschrift.

Indien niet aan alle voorwaarde is voldaan dient alsnog een volledige beoordeling uitgevoerd te worden volgens de toetsingsregels in dit voorschrift (stap D).

Om na te kunnen gaan of voldaan is aan voorwaarde C1 of C2 zal de geometrie van de primaire waterkering op de peildatum van de derde toetsronde 2006-2011 bekend moeten zijn; de primaire waterkering zal dus ingemeten moeten worden om na te kunnen gaan of het dwarsprofiel niet is veranderd.

Stap D: Beoordeling volgens toetsingsregels in dit voorschrift

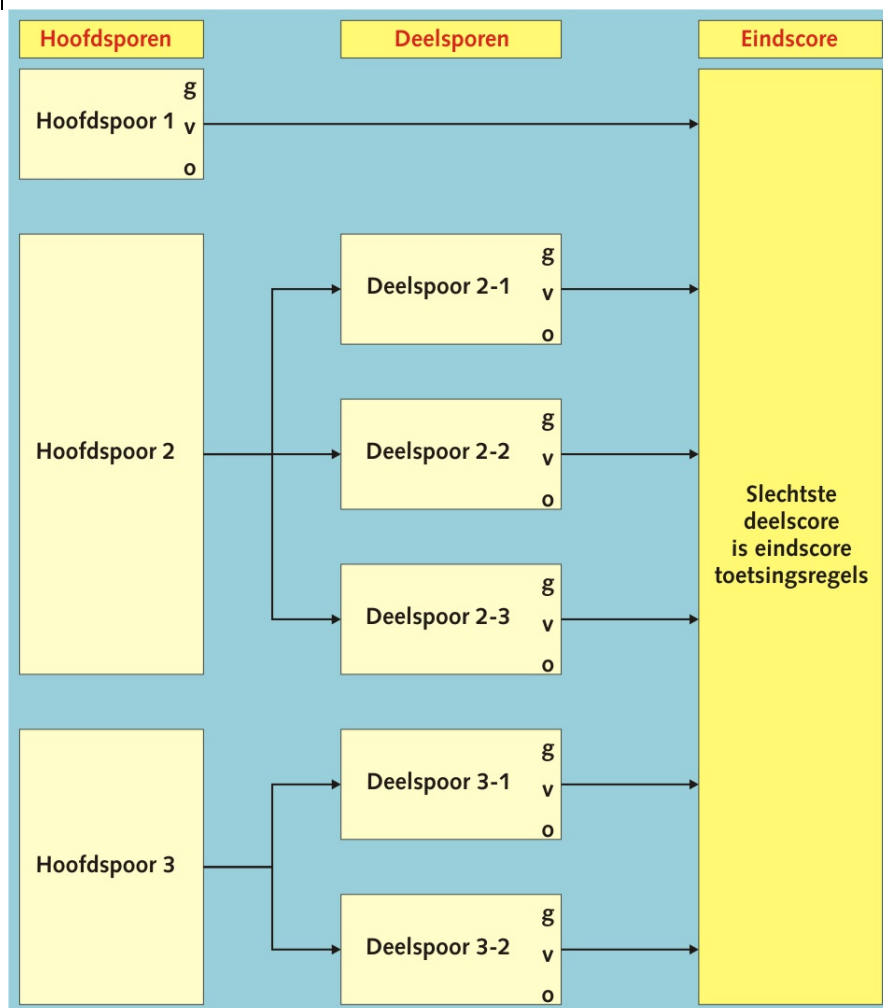
Voor de sectie van de primaire waterkering wordt een volledige beoordeling uitgevoerd volgens de toetsingsregels in dit voorschrift.

2.1.3 Beoordeling per sectie volgens de toetsingsregels in dit voorschrift

Per sectie wordt het type kering bepaald: dijk, dam, hoge grond, duin, kunstwerk of aansluiting tussen twee types waterkering. Vervolgens wordt per sectie de kering beoordeeld aan de hand van het [hoofdschema voor toetsingsregels](#) uit het betreffende katern, waarin de te doorlopen hoofd- en deelsporen zijn aangegeven (zie Figuur 2 - 2.4).

Figuur 2 - 2.4

Hoofdschema per sectie voor de beoordeling volgens de toetsingsregels van primaire waterkeringen van de categorie a en b



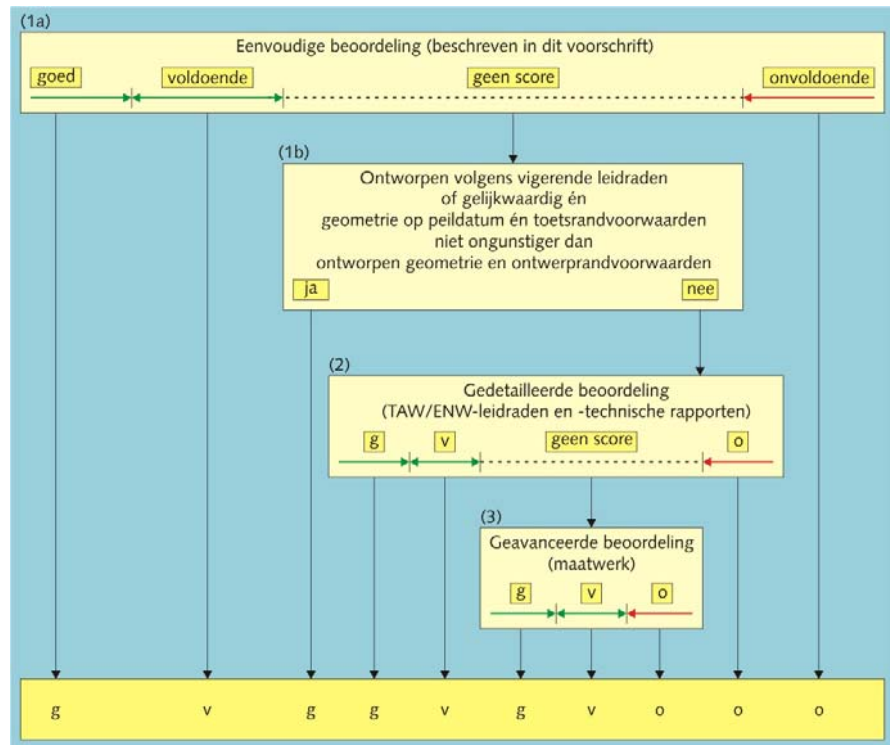
Voor de eindscore volgens de toetsingsregels geldt dat de laagste score van één van de toetssporen tevens de eindscore is voor de sectie.

De toetsingsregels zijn zodanig opgesteld dat per toetsspoor zo snel en eenvoudig mogelijk een score toegekend kan worden; er wordt gewerkt met drie in moeilijkheidsgraad oplopende beoordelingscriteria, aangeduid met 'eenvoudig', 'gedetailleerd' en 'geavanceerd' (zie Figuur 2 - 2.5).

In Katern 5 tot en met Katern 10 zijn de hoofd- en deelsporen per (faal)mechanisme uitgewerkt. Afhankelijk van het te beschouwen mechanisme en de beschikbare toetsmethodes kunnen de toetsschema's afwijken van het algemene toetsschema in Figuur 2 - 2.5.

Figuur 2 - 2.5

Beoordeling van eenvoudig naar geavanceerd per beoordelingsschema



Stap 1: eenvoudige beoordeling en gehanteerde ontwerpregels

De beoordeling start met eenvoudige toe te passen criteria. De deelscore is 'goed' of 'voldoende' indien aan de criteria wordt voldaan. In enkele gevallen is het mogelijk om op grond van de eenvoudige methode de score 'onvoldoende' toe te kennen. Indien op grond van de eenvoudige methode geen score kan worden bereikt, dan gaat de beoordeling verder met een meer gedetailleerde beoordeling (stap 2).

Stap 2: gedetailleerde beoordeling

De moeilijkheidsgraad van deze gedetailleerde beoordeling ligt op het niveau van TAW/ENW-ontwerpleidraden en is met behulp van deze leidraden en bijbehorende technische rapporten uit te voeren. Is het niet mogelijk om tot een score 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' te komen op grond van de gedetailleerde beoordeling, dan wordt de toetsing voortgezet met een geavanceerde beoordeling (stap 3).

Stap 3: geavanceerde beoordeling

De geavanceerde beoordeling is een verdieping van de gedetailleerde toets via bijvoorbeeld een nadere uitwerking van randvoorwaarden, aanvullende gegevensverzameling, toepassing van niet vastgestelde of genoemde rekenmethodes of variatie met faalkansruimte per mechanisme.

Een geavanceerde beoordeling is vaak specifiek op de te beoordelen situatie gericht en zal doorgaans met behulp van specialisten op het betreffende vakgebied moeten worden uitgevoerd.

Uiteindelijk zal, ook weer met inachtneming van het waargenomen gedrag, de beoordeling resulteren in een eindscore 'goed' (g), 'voldoende' (v) of 'onvoldoende' (o).

Een onderscheid tussen gedetailleerd toetsen en geavanceerd toetsen is dat gedetailleerd toetsen gebaseerd is op door TAW/ENW vastgestelde kennis die is vastgelegd in leidraden en technische rapporten en waarnaar verwezen wordt in de betreffende toetsingsregels. Geavanceerd toetsen is veelal niet gebaseerd op door TAW/ENW vastgestelde kennis. In geval van geavanceerd toetsen zal aangetoond moeten worden dat de methode terecht toegepast wordt. Hier ligt de bewijslast bij de toetser in plaats van bij TAW/ENW. De toetser kan hiervoor advies inwinnen bij ENW of de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte).

Een ander onderscheid tussen gedetailleerd en geavanceerd toetsen is gelegen in de complexiteit. Geavanceerde methodes zijn veelal complexer dan gedetailleerde toetsingsregels.

De geavanceerde beoordeling kan ook bestaan uit de resultaten van een deskundigenraadpleging, een proefbelasting of modelonderzoek.

Voor ondersteuning bij het uitvoeren van de geavanceerde beoordeling kan een beroep gedaan worden op de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte)

2.1.4 Eindscore en veiligheidsoordeel

De eindscore volgens de toetsingsregels en het beheerdersoordeel worden in de rapportage per sectie vertaald naar het veiligheidsoordeel ‘**voldoet aan de norm**’ of ‘**voldoet niet aan de norm**’ en vervolgens per dijkkringgebied, zoals beschreven in de toelichting bij Figuur 2 - 2.1 aan het begin van dit hoofdstuk.

Indien de beoordelaar onvoldoende gegevens ter beschikking heeft of onvoldoende mogelijkheden om tot een eindscore volgens de toetsingsregels te komen, dan kan met behulp van de beschikbare gegevens en de beschikbare en geaccepteerde kennis nog geen oordeel worden uitgesproken. Nader onderzoek is dan noodzakelijk. Dit nader onderzoek kan bestaan uit:

- een uitbreiding van het reeds uitgevoerde onderzoek, opdat alsnog voldoende gegevens vergaard worden om een beoordeling volgens de toetsingsregels uit te voeren;
- een controle naar mogelijke fouten in het reeds uitgevoerde onderzoek en de reeds uitgevoerde beoordeling;
- advisering door deskundigen over de te volgen route naar een oordeel;
- een verdieping van de reeds uitgevoerde beoordeling (geavanceerde beoordeling).

Hierbij kan ondersteuning gevraagd worden bij de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte). Indien het dan nog steeds niet mogelijk is om een score toe te kennen zal het eigen oordeel van de beheerder in dergelijke gevallen van belang zijn. In de rapportage van de toetsing zal nadrukkelijk moeten worden ingegaan op de secties waarvoor een oordeel op grond van de toetsingsregels niet mogelijk is. Daarbij hoort een beschouwing over de veiligheid van de betreffende sectie. Zolang niet aannemelijk kan worden gemaakt dat de veiligheid is verzekerd kan het veiligheidsoordeel ‘**voldoet aan de norm**’ niet worden gegeven.

2.2 Primaire waterkeringen van de categorie b

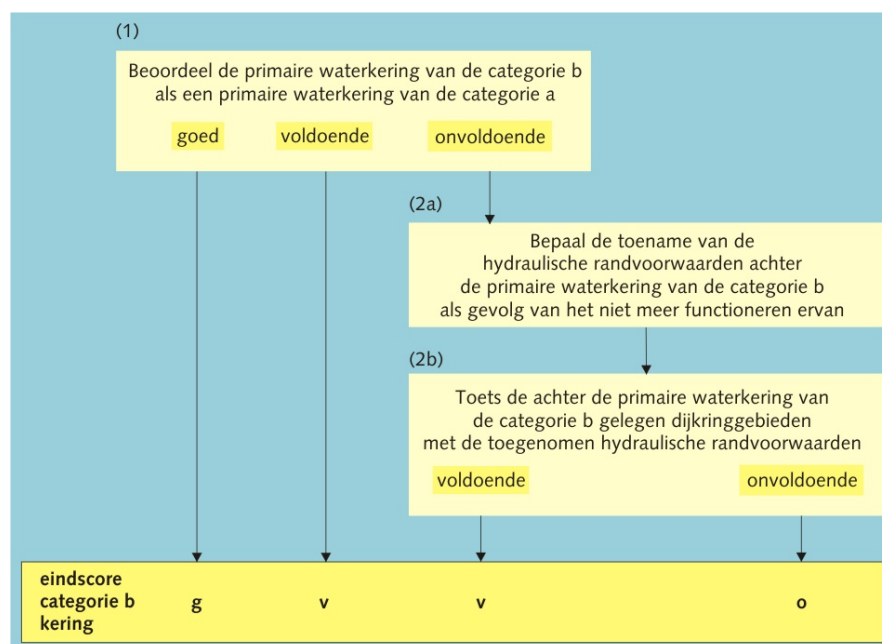
De voorliggende primaire waterkeringen of verbindende waterkeringen uit categorie b zijn waterkeringen, die een zee- of rivierarm af (kunnen) sluiten van de directe invloed van het buitenwater. Ze vormen een functioneel bestanddeel van het stelsel, waarmee achterliggende en/of verbonden dijkkringgebieden worden beveiligd. De primaire keringen van de categorie b zijn weergegeven op de overzichtskaart in Figuur 1 - 2.3 in Katern 1; de bijbehorende veiligheidsnorm is weergegeven in Tabel 1 - 2.1 in Katern 1.

Er zijn twee bijzondere verbindende waterkeringen:

- **Sluizen van Ijmuiden (7).**
Deze maken deel uit van het keringstelsel van dijkkringgebied 44 en vormen een verbindende waterkering tussen de dijkkringgebieden 13 en 14. De wettelijke norm voor de dijkkringgebieden 13 en 14 is zwaarder dan voor dijkkringgebied 44. Om deze reden wordt de kering beoordeeld op de norm van de dijkkringgebieden 13 en 14 en is daarom in de categorie b ingedeeld.
- **Heerenwaardense Afsluitdijk, Schutsluis Sint Andries en Kloosterdijk (24).**
Gezien het belang dat wordt gehecht aan het verzekeren van de scheiding tussen Maas en Waal is hier een zwaardere norm van toepassing (zie Tabel 1 - 2.1 in Katern 1) dan voor de aangrenzende dijkkringgebieden. Naast de functie als verbindende waterkering en waterscheiding maakt een groot deel van de Heerenwaardense Afsluitdijk tevens deel uit van het keringstelsel dat dijkkring 40 omsluit.

De beoordeling van de primaire waterkeringen van de categorie b dient integraal plaats te vinden met de achterliggende en/of verbonden dijkkringgebieden. In dit voorschrift wordt hiervoor de werkwijze toegepast volgens het toetschema in Figuur 2 - 2.6.

Figuur 2 - 2.6
Beoordelingsschema primaire waterkeringen van de categorie b



Stap 1: beoordeling van kering

Beoordeel de primaire waterkering van de categorie b als een primaire waterkering van de categorie a (zie § 2.1) op de zwaarste van de normen van de achter de waterkering liggende en/of met de waterkering verbonden dijkkringgebieden. In de normfrequentie van de verbindende waterkeringen (zie Tabel 1 - 2.1 in Katern 1) en in de Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006) [45] voor de verbindende waterkeringen is deze eis reeds verdisconteerd.

Bij de eindscores 'goed' of 'voldoende' wordt de beoordeling gestopt en is deze score de eindscore voor de primaire waterkering van de categorie b.

Bij de eindscore 'onvoldoende' wordt de beoordeling voortgezet met stap 2a.

Stap2: Beoordeling van het systeem van kering en achterliggende dijkkringgebieden

In stap 2 wordt onderzocht welke invloed het verwachte functioneren of disfunctioneren bij maatgevende omstandigheden heeft op de maatgevende randvoorwaarden voor de achterliggende primaire waterkeringen. Als deze achterliggende waterkeringen hierdoor 'onvoldoende' scoren is dit reden om de categorie-b waterkering ook de eindscore 'onvoldoende' te geven. Scoren de achterliggende primaire waterkeringen 'goed' of 'voldoende', dan krijgt de categorie-b waterkering alsnog de eindscore 'voldoende'. Een score 'goed' kan alleen toegekend worden indien de primaire waterkering van de categorie b zelf voldoet aan de criteria voor deze score (zie ook hoofdstuk 5 van dit katern).

2.3 Primaire waterkeringen van de categorie c

Primaire waterkeringen van de categorie c worden niet getoetst op veiligheid in het kader van dit voorschrift. In HR2006 zijn geen hydraulische randvoorwaarden opgenomen voor het toetsen van primaire waterkeringen van de categorie c en in dit voorschrift zijn geen toetsingsregels opgenomen voor het toetsen van primaire waterkeringen van de categorie c.

In opdracht van het Directoraat-Generaal Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat wordt een toetsmethode met bijbehorende hydraulische randvoorwaarden opgesteld voor primaire waterkeringen van de categorie c. Ten tijde van het uitbrengen van dit voorschrift waren deze toetsmethode en de bijbehorende hydraulische randvoorwaarden nog niet gereed.

2.4 Primaire waterkeringen van de categorie d

Primaire waterkeringen van de categorie d betreffen waterkeringen die de landsgrens met respectievelijk België (tot in Noord-Frankrijk) en Duitsland overschrijden (zie Bijlage I bij de Wet), waardoor gelding en handhaving van de wettelijke norm voor deze gedeelten van de primaire waterkering geen basis heeft. De beoordeling bestaat in deze gevallen uit een beschrijving van de situatie en de mate waarin medewerking is bereikt. Beide elementen worden hieronder uitgewerkt.

De beschrijving van de situatie begint met een inschatting of de buitenlandse waterkeringen voldoen aan de wettelijke norm van het Nederlandse dijkkringgebied. Als dat niet het geval is, is het nuttig om een inschatting te maken of de bijbehorende overstroming zich uitstrekt tot in het Nederlandse dijkkringgebied, met een indicatie van de mogelijke ernst van de overstroming in het Nederlandse dijkkringgebied. De beoordeling kan in eerste instantie worden gebaseerd op bestaande informatie van de buitenlandse partners.

Als de buitenlandse waterkeringen naar verwachting niet voldoen aan de norm, of als dit onduidelijk is, moet ook in dit geval worden ingegaan op de maatregelen. Daarbij gaat het vooral om communicatie en het nastreven van samenwerking om de hoogwaterveiligheid van het Nederlandse grondgebied aan de norm te laten voldoen.

Deze beoordeling is een gezamenlijke verantwoordelijkheid van de Nederlandse beheerder, Gedeputeerde Staten en het Rijk. De praktische rolverdeling kan worden afgestemd op bestaande contacten met de relevante autoriteiten over de grens.

De aansluitende waterkeringen op Nederlands grondgebied dienen aan de norm te voldoen.

2.5 Hoge gronden

Hoge gronden zijn volgens de toelichting bij de Wet “geografische gegevens en vormen als zodanig geen object van waterstaatszorg. Voor het wettelijk kader is enkel relevant hun aanwezigheid...”. In dit voorschrift zijn hoge gronden gedefinieerd als natuurlijke hoge delen in het landschap die niet overstromen bij maatgevend hoogwater en die als zodanig globaal zijn aangegeven in bijlagen I en IA bij de Wet op de waterkering [1] (zie ook Figuur 1.1 en Figuur 1.2 in het Centrale Gedeelte). De exacte ligging is niet van belang, aangezien hoge grond geografische gegevens zijn die niet getoetst worden. Er dient alleen voor gewaakt te worden dat hoge grond ‘hoge grond’ blijft. De controle hierop is de verantwoordelijkheid van de provincie, waarbij gebruik gemaakt kan worden van wettelijke instrumenten in het kader van de Ontgrondingenwet en de Wet op de Ruimtelijke Ordening.

Bovenstaande betekent dat hooggelegen delen in het landschap die niet zijn aangegeven als hoge grond in bijlage I en IA bij de Wet, zoals vestingsteden en forten, niet als hoge grond beschouwd worden, maar dat deze - als ze onderdeel uitmaken van het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit - aangemerkt moeten worden als primaire waterkering en dus als zodanig getoetst dienen te worden door de beheerder en wel op het niveau van de categorie van de aansluitende primaire waterkering:

- de aansluiting van hoge grond aan een primaire waterkering van de categorie a wordt getoetst zoals beschreven in hoofdstuk 6 van Katern 5;
- de aansluiting van hoge grond aan een primaire waterkering van de categorie b komt niet voor;
- de aansluiting van hoge grond aan een primaire waterkering van de categorie c wordt getoetst zoals beschreven in § 2.3 van Katern 2;
- de aansluiting van hoge grond aan een primaire waterkering van de categorie d komt niet voor binnen Nederland.

3 Indeling in secties

De primaire waterkering kan op verschillende wijzen opgedeeld worden in secties:

- **alle secties hebben dezelfde lengte.** Een mogelijke indeling in secties kan geschieden op grond van gelijke, voldoende kleine lengte. Door een voldoende kleine lengte per sectie te kiezen is de kans op het missen van eventuele discontinuïteiten en inhomogeniteiten in de waterkering, de ondergrond en hydraulische randvoorwaarden voldoende klein.;
- **secties hebben ieder afzonderlijk een afwijkende lengte** die afhankelijk is van de lokale karakteristieke kenmerken van de waterkering, de ondergrond en de hydraulische randvoorwaarden. De sectie-indeling kan geschieden per hoofdschema, maar ook per toetsspoor.

Hierna wordt ingegaan op een indeling per secties, gebaseerd op lokale karakteristieke kenmerken van de waterkering en de ondergrond.

De eerste opdeling volgt uit het aantal aanwezige keringtypes. Bij dijken en dammen zal in de meeste gevallen een verdere onderverdeling in secties wenselijk zijn, bij duinen en kunstwerken soms.

Het basismateriaal voor een hanteerbare opdeling wordt verschaft door de legger en het beheersregister; hierin is ook aangegeven welke profielbreedte (volgend uit de keurzone) moet worden meegenomen.

Voor de toetsing wordt de onderstaande hoofdindeling naar type kering aangehouden.

Dijken en dammen

Om een hanteerbare sectie-indeling te kunnen vaststellen wordt in de eerste plaats een zo volledig mogelijk overzicht opgesteld van alle aanwezige kenmerken en elementen. Dit overzicht sluit direct aan op het beheersregister. Onder kenmerken en elementen worden hierbij zaken verstaan als:

- de plaatsaanduiding van het beschouwde gedeelte;
- de geometrie van het dijk- of damprofiel, waaronder het wel of niet aanwezig zijn van stabiliteit-, opbarst- of pipingbermen;
- de ondergrond. Van belang zijn de grondmechanische situatie en de van toepassing zijnde ontwerpcriteria voor de waterkering. Hiervoor dient onderscheid te worden gemaakt tussen de verschillende soorten ondergrond en kenmerken zoals samendrukbaarheid, waterdoorlatendheid, en zettingsvloeiingsgevoeligheid;
- de hydraulische belasting, waarbij de mate van geëxposeerdheid en de eventuele aanwezigheid van een voorland een rol spelen;
- het type en de plaats van de bekledingen;
- de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten, zoals bomen, bebouwing, kabels en leidingen en specifieke constructies (o.a. windmolens).

Dijken en dammen worden in secties verdeeld op grond van uniformiteit van karakteristieken per sectie. Karakteristieken zijn: geometrie, opbouw en samenstelling van de waterkering en de ondergrond en de hydraulische belasting. Iedere sectie wordt gekarakteriseerd door een representatief dwarsprofiel.

De toetsing van dijken en dammen is beschreven in Katern 5.

Hoge gronden

Hoge gronden worden niet getoetst (zie § 2.5 in dit katern) en worden dus niet opgedeeld in secties. De aansluiting van hoge gronden aan primaire waterkeringen worden wel getoetst. In de legger van de betreffende primaire waterkering is aangegeven welke gedeelten van de hoge grond relevant zijn voor de primaire waterkering en dus voor de toetsing.

De toetsing van hoge gronden is beschreven in Katern 5.

Duinen

Bij duinen wordt onderscheid gemaakt tussen duinen met en zonder duinvoetverdediging. Een eerste indeling vindt plaats op grond van de aan- of afwezigheid van een duinvoetverdediging.

Bij duinen zonder duinvoetverdediging wordt de lengte van de sectie bepaald door de afstand waarover de hydraulische belasting constant kan worden genomen; het is dus mogelijk, dat de gehele lengte duinkust in een dijkringgebied uit slechts één sectie bestaat. De beheerder selecteert per sectie de zwakste dwarsprofielen voor beoordeling.

De toetsing van duinen is beschreven in Katern 6.

Waterkerende kunstwerken

Een indeling in secties bij waterkerende kunstwerken is afhankelijk van belastingszones en van mogelijke herhalingen in constructieve elementen. In de meeste gevallen zal voor het kunstwerk zelf met één sectie kunnen worden volstaan. De aansluiting met dijken of dammen worden apart beoordeeld. Er wordt onderscheid gemaakt in:

- waterkerende kunstwerken, zoals schutsluizen, stroomsluizen (spui-, inlaat- en doorlaatsluizen), keersluizen, hoogwaterkeringen, stormvloedkeringen en coupures;
- bijzondere (waterkerende) constructies, zoals kistdammen, diepwanden, damwandschermen, keermuren en kademuren.

De toetsing van kunstwerken is beschreven in Katern 7.

Aansluitingsconstructies

Dit zijn overgangen tussen twee van de bovengenoemde keringtypes.

De toetsing van aansluitingsconstructies van dijken aan hoge gronden is opgenomen in Katern 5, van dijken aan duinen in Katern 6 en van dijken aan kunstwerken in Katern 7.

Niet-waterkerende objecten

Dit zijn objecten in, op, onder of nabij de waterkering die geen waterkerende functie vervullen, maar waarvan de aanwezigheid wel van invloed is of kan zijn op het waterkerend vermogen van de waterkering. Een indeling in secties vindt niet primair plaats op grond van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten, maar op grond van de kenmerken van de kering in relatie tot de invloed van een niet-waterkerend object op het waterkerend vermogen.

Binnen bovengenoemde indeling geldt bij toepassing van dit voorschrift voor belastingen en normstelling de in hoofdstuk 2 van Katern 1 gepresenteerde categorie-indeling.

De indeling in secties vindt plaats per toetsspoor (zie Tabel 2 - 4.1); het kan dus voorkomen, dat voor de beoordeling op hoogte een andere indeling wordt gevolgd dan voor de beoordeling op stabiliteit.

4 Beoordelingssporen

De per dijkkringgebied te onderzoeken aspecten zijn geclusterd in drie hoofdsporen:

- hoogte (HT);
- stabiliteit (ST);
- betrouwbaarheid sluiting (BS).

Afhankelijk van het keringtype worden één of meer van deze hoofdsporen doorlopen. In Tabel 2 - 4.1 is een overzicht gegeven van de te doorlopen beoordelingssporen per waterkeringtype en waar deze zijn terug te vinden in dit voorschrift.

Tabel 2 - 4.1
Beoordelingssporen per type waterkering

Toetsspoor			Type waterkering					Maaskade	
Hoofdspoor	Deelspoor		Dijk	(Haven) dam	Hoge grond	Duin	Kunst-werk	Dijk	Kunst-werk
	Omschrijving	(Afk.)							
Hoogte	Overloop én golfoverslag	(HT)	X	X			X		
	Overloop	(HTL)						X	X
	Golfoverslag	(HTG)						X	X
Stabiliteit	Piping/heave	(STPH)	X				X	X	X
	Macrostabiliteit buitenwaarts	(STBU)	X	X				X	
	Macrostabiliteit binnenwaarts	(STBI)	X	X				X	
	Microstabiliteit	(STMI)	X	X				X	
	Bekleding	(STBK)	X	X				X	
	Voorland	(STVL)	X	X			X	X	X
	Aansluiting op primaire kering	(HAP)			X				
	Achterloopsheid/vergraving	(HAL)			X				
	Duinafslag	(DA)				X			
	Winderosie	(WE)				X			
	Aansluiting op grondlichaam	(STCG)					X		X
	Sterkte constructieonderdelen	(STCO)					X		X
	Niet-waterkerende objecten	(NWO)		X	X		X		X
	Betrouwbaarheid sluiting	(BS)					X		X
	Behandeld in			Katern 5 Hs. 4	Katern 5 Hs. 5	Katern 5 Hs. 6	Katern 6 Hs. 4	Katern 7 Hs. 4	Katern 5 Hs. 4

In Tabel 2 - 4.2 is aangegeven waar in dit voorschrift de toetsing van de aansluiting tussen verschillende types waterkering is terug te vinden.

Tabel 2 - 4.2
Beoordeling van
aansluitingsconstructies

De aansluiting van	op	wordt behandeld in	bij toetsspoor
hoge grond	primaire waterkeringen	Katern 5, hs. 6	HAP
duinen	dijken en dammen	Katern 6, § 4.3	DA
kunstwerken	grondlichamen	Katern 7, § 4.2.1	STCG

In Tabel 2 - 4.3 is aangegeven waar in dit voorschrift de toetsing van de overgangen tussen verschillende dijkbekledingen is terug te vinden.

Tabel 2 - 4.3
Beoordeling van
overgangsconstructies

Overgangsconstructies bij	worden behandeld in
duinvoetverdedigingen	Katern 6, § 4.2.1
steenzettingen	Katern 8, § 2.5
asfaltbekledingen	Katern 8, § 3.5

Bij de beoordeling op de norm voldoet de primaire waterkering niet als van een of meer secties niet aangetoond kan worden dat water veilig gekeerd kan worden bij maatgevende condities. Dit treedt op als ergens in het keringstelsel van het dijkkringgebied te weinig kerende hoogte (HT) aanwezig is, óf als, bij voldoende kerende hoogte, de stabiliteit (ST) van de kering onvoldoende is, óf als bij voldoende kerende hoogte en stabiliteit, de betrouwbaarheid van de sluiting van afsluitmiddelen (BS) onvoldoende is. Bij duinen wordt het voorgaande vertaald in het niet meer aanwezig zijn van voldoende inhoud c.q. volume met massa.

5 Beoordelingscriterium

De Deltacommissie heeft voor de beveiliging tegen stormvloed inder tijd een norm geadviseerd in de vorm van een overschrijdingsfrequentie van een waterstand. Bij die waterstand moet de kering nog 'volledig veilig' zijn. Dit criterium is door de Deltacommissie vertaald in een aantal ontwerpcriteria, waaronder het 2%-golfploopcriterium en een aantal constructieve criteria. Dit is het ijkpunt voor latere ontwerpkeidraden en voor de toetsingscriteria. De latere adviezen van de Commissies Becht en Boertien voor de rivierdijken en van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen voor de IJsselmeer- en Markermeerdijken zijn op het advies van de Deltacommissie geënt. Deze adviezen zijn door de regering overgenomen en de overschrijdingsfrequenties voor de maatgevende belasting zijn vastgelegd in Artikel 3 van de Wet [1].

De bij het ontwerpen op grond van de wettelijke norm aangehouden verhouding tussen sterkte en belasting (veiligheidsmarge) is zodanig ruim, dat pas bij een significant geringere sterkte dan de ontwerpsterkte sprake zal zijn van een voor de veiligheid tegen overstromen onacceptabele situatie bij de maatgevende belasting.

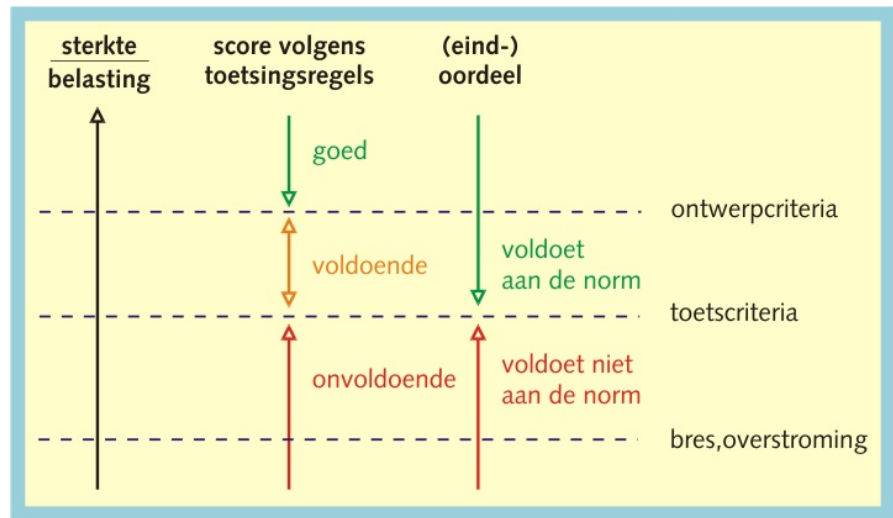
Daarnaast wordt, zoals aangegeven in hoofdstuk 3 van het Centrale Gedeelte, bij het ontwerpen van waterkeringen ook geoptimaliseerd vanuit andere oogpunten dan alleen veiligheid.

Het voorgaande komt als volgt tot uiting in de scores bij de toetsing (zie Figuur 2 - 5.1).

- heeft de kering op de peildatum tenminste ontwerpkeidrateit, dan is de score 'goed'. Bij toetsen wordt onder 'ontwerpkeidrateit' verstaan dat is aangetoond dat aan de ontwerpcriteria is voldaan met gebruikmaking van toetsuitgangspunten en -randvoorwaarden. Voor ontwerpmethodes en ontwerpcriteria wordt verwezen naar de TAW/ENW-leidraden en -technische rapporten;
- ligt de sterkte beneden het niveau waarop een voor de veiligheid onacceptabele situatie optreedt, dan is de score 'onvoldoende' en is verbetering nodig;
- ligt de sterkte beneden de ontwerpkeidrateit, maar boven het niveau waarbij een onveilige situatie ontstaat, dan is de score 'voldoende'.

Afwijkingen van de in de TAW/ENW-leidraden en -technische rapporten aanbevolen methodes moeten door de gebruiker van dit voorschrift kritisch worden beoordeeld. Naast het oordeel volgens dit voorschrift speelt hier het oordeel van de beheerder een belangrijke rol (zie hoofdstuk 6 van dit katern).

Figuur 2 - 5.1
Beoordelingstraject



In Katern 5 tot en met Katern 10 is de beoordeling per keringtype nader uitgewerkt.

De in de ontwerpleidraden gegeven sterktecriteria behoren bij de score 'goed'. Voor zover ze niet zijn gegeven in de ontwerpleidraden, zijn de toetscriteria voor de verschillende elementen afgeleid door na te gaan wat de gewenste verhouding is tussen de belasting en de sterkte. Deze toetscriteria zijn afgestemd op de uitgangspunten zoals die zijn geformuleerd door de Deltacommissie.

De in de legger vastgelegde minimaal vereiste afmetingen en kwaliteit van de kering is veelal gebaseerd op de ontwerpsterkte. Het kan voorkomen dat tijdelijk, tot een herstel- of verbeteringswerk wordt uitgevoerd, een niveau onder het leggerniveau wordt geaccepteerd. Hierbij hoeft de veiligheid echter niet in het geding te zijn, mits nog wel voldaan is aan de toetscriteria (score 'voldoende').

6 Beheerdersoordeel

Bij het beoordelen van een primaire waterkering wordt naast de eindscores volgens de toetsingsregels in dit voorschrift ook de door de beheerder opgedane kennis over en ervaring met het gedrag van de betreffende waterkering meegewogen bij het vaststellen van de uiteindelijke eindscore per sectie. De beoordeling van een sectie leidt dan tot twee scores: de eindscore volgens de toetsingsregels en het beheerdersoordeel (zie ook Figuur 2 - 2.2 in hoofdstuk 2 van dit katern). Dit betekent dat de beheerder voor iedere sectie een beheerdersoordeel op moet stellen. Indien de beheerder instemt met de eindscore volgens de toetsingsregels kan volstaan worden met het overnemen hiervan als beheerdersoordeel zonder verdere onderbouwing. Indien het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregels moet een afweging worden gemaakt om tot de eindscore voor de sectie te komen. Deze afweging wordt uitgewerkt in het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46].

In dit hoofdstuk wordt niet verder ingegaan op de beoordeling volgens de toetsingsregels; hiervoor wordt verwezen naar dit gehele voorschrift.

Een punt van aandacht in het beheerdersoordeel vormt het gegeven dat de norm waarop moet worden getoetst ver af ligt van waargenomen extreme omstandigheden, en dus van opgedane en verwerkte ervaringen, dat de kans bestaat dat de gegeven toetsingsregels niet alle van belang zijnde zaken dekken. Dit ondanks het feit dat gebruik is gemaakt van de laatste stand van wetenschap en techniek. De beheerder speelt daardoor een belangrijke rol in het opsporen van mogelijke tekortkomingen in de toetsingsregels. Hij is de eerste die vanuit zijn dagelijks omgaan met de primaire waterkering een praktijkgericht oordeel kan geven over de toepasbaarheid van een specifieke toetsingsregel.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt ingegaan op:

- redenen en/of oorzaken voor het opstellen van het beheerdersoordeel;
- het opstellen van het beheerdersoordeel;
- de afweging tussen de eindscore volgens de toetsingsregels en het beheerdersoordeel.

6.1 Redenen en/of oorzaken voor het opstellen van het beheerdersoordeel

- ***De beheerder is het niet eens met de eindscore volgens de toetsingsregels***

Indien de beheerder niet instemt met de eindscore volgens de toetsingsregels, zal het beheerdersoordeel hiervan afwijken en zal dit onderbouwd dienen te worden (zie § 6.2 van dit hoofdstuk).

Een reden om niet in te stemmen met de eindscore volgens de toetsingsregels kan zijn dat de kering gedrag vertoont dat niet in overeenstemming is met de eindscore volgens de toetsingsregels. Een voorbeeld is dat een dijk de eindscore 'goed' toegekend krijgt voor macrostabiliteit binnenwaarts terwijl vervormingen zijn waargenomen bij minder extreme omstandigheden dan bij Toetspeil.

Een andere reden om niet in te stemmen met de eindscore volgens de toetsingsregels is het tussentijds beschikbaar komen van nieuwe kennis en inzichten, op grond waarvan een afwijkend toetsresultaat wordt bereikt.

M

- **Een eindscore volgens de toetsingsregels is niet mogelijk**

Er zijn een aantal oorzaken die er toe kunnen leiden dat een eindscore volgens de toetsingsregels niet mogelijk is: de hydraulische randvoorwaarden of de toetsingsregel zijn mogelijk niet toegesneden op de te toetsen kering of de beheerder heeft onvoldoende gegevens om de toets uit te voeren. Voor de eindscore zal dan het beheerdersoordeel van belang zijn.

De Maaskaden worden voor de eerste maal getoetst. Het is denkbaar dat de toetsingsregels in een aantal gevallen niet zijn toegesneden op de specifieke situatie langs de Maas. Ook in dit geval is het beheerdersoordeel van belang.

- **Oordeel over beheersbare overstroombaarheid van Maaskaden**

De Maaskaden moeten bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/250 per jaar voldoen aan de norm. Middels de toetsingsregels in dit voorschrift wordt hierop beoordeeld.

Vanwege de aanvullende eis van adequate overstroombaarheid zullen Maaskaden echter, anders dan andere primaire waterkeringen, bij waterstanden met een overschrijdingfrequentie hoger dan 1/250 per jaar overstromen. Deze overstroming moet op een beheersbare manier gebeuren om de kans op slachtoffers te beperken. De beheersbare overstroombaarheid heeft primair een relatie met de calamiteitenplannen van de waterschappen en gemeenten; deze moeten daarop afgestemd zijn. In het beheerdersoordeel dient de waterkeringbeheerder een oordeel te geven over de Beheersbare Overstroombaarheid van de kaden in zijn beheergebied.

m

6.2 Het opstellen van het beheerdersoordeel

Bij de afweging tussen de eindscore volgens de toetsingsregels en het daarvan afwijkende beheerdersoordeel om te komen tot een eindscore voor de sectie is de kwaliteit van het beheerdersoordeel van belang. Het is complex om objectieve kwaliteitscriteria op te stellen voor het beheerdersoordeel, aangezien kennis en ervaring met het gedrag van een kering (het 'gevoel' bij een kering) een rol spelen. Om deze reden wordt hier een aantal aandachtspunten genoemd waarmee de beheerder rekening kan houden bij het opstellen van het beheerdersoordeel en die bij kunnen dragen aan de acceptatie van het beheerdersoordeel.

Het beheerdersoordeel blijft in de eerste plaats de verantwoordelijkheid van de beheerder en het staat hem dan ook vrij om het beheerdersoordeel naar eigen inzicht in te vullen.

Aandachtspunten bij het opstellen van het beheerdersoordeel:

- indien het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregels dient de oorzaak hiervoor aangegeven en onderbouwd te worden. De onderbouwing kan bestaan uit waargenomen gedrag of uit de resultaten van een analyse volgens een andere methode dan de toetsingsregels in dit voorschrift;
- indien een eindscore volgens de toetsingsregels niet mogelijk is dient het beheerdersoordeel naast een oordeel over de kering tevens de oorzaken te bevatten dat een eindscore volgens de toetsingsregels niet mogelijk is;
- indien voor het beoordelen van de kering gebruik is gemaakt van nieuwe kennis en inzichten dient deze analyse gerapporteerd te worden als onderdeel van het beheerdersoordeel.

Door de onderbouwing van het beheedersoordeel op te stellen per toetsspoor of faalmechanisme wordt de onderbouwing gekoppeld aan de beoordeling volgens de toetsingsregels. Dit vergemakkelijkt het op waarde schatten van het beheedersoordeel en de afweging ten behoeve van de eindscore. Een overzicht van de toetssporen is gegeven in Tabel 2 - 4.1.

Voor ondersteuning bij het opstellen van het beheedersoordeel kan een beroep gedaan worden op de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte)

6.3 Afweging eindscore toetsingsregels en beheedersoordeel

De wijze waarop het beheedersoordeel wordt meegewogen bij het vaststellen van de eindscore van de sectie door de Gedeputeerde Staten ten behoeve van de rapportage aan de minister en bij het vaststellen van de eindscore van de sectie door de minister ten behoeve van de Landelijke Rapportage Toetsing wordt uitgewerkt in het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46]. Dit wordt verder niet behandeld in dit voorschrift.

Katern 3

Presentatie van de veiligheid

1 Waardering per dijkringgebied

In Katern 2 van dit Voorschrift is aangegeven op welke wijze een beoordeling van de veiligheid van een dijkringgebied tot stand komt. In dit katern wordt de rapportage van de toetsresultaten beschreven.

Per **sectie** wordt per **methode** een eindscore bepaald (zie hoofdstuk 2 van Katern 2 en Figuur 2 - 2.2), waarbij voor de toetsingsregels per **hoofdspoor** een **eindscore** ('goed', 'voldoende', 'onvoldoende') wordt bepaald met behulp van de Katernen 5 tot en met 10.

Het resultaat van de toetsing wordt gerapporteerd **per sectie, per methode, per hoofdspoor** en **per deelspoor**.

De uitkomsten van beide methodes (toetsingsregels en beheerdersoordeel) zullen in de meeste gevallen dezelfde zijn, maar kunnen verschillen. In het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46] wordt de wijze uitgewerkt om een afweging te maken tussen de eindscore volgens de toetsingsregels, het beheerdersoordeel of nader onderzoek, indien besloten wordt dat een eindscore (nog) niet mogelijk is. Voor het opstellen, uitvoeren en beoordelen van het nader onderzoek kan een beroep gedaan worden op de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte) en kan het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) om advies gevraagd worden.

2 Presentatie van de toetsresultaten

2.1 Algemeen

Bij de eerste toetsronde 1996-2001 en de tweede toetsronde 2001-2006 bleek dat de wijze van rapportage sterk uiteenliep. De rapportages van de beheerders verschilden van de rapportages door Gedeputeerde Staten, maar ook rapportages van de beheerders onderling en Gedeputeerde Staten onderling liepen sterk uiteen. In het kader van het Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde [46] worden richtlijnen uitgewerkt voor een uniforme rapportage.

In dit katern zijn een aantal aandachtspunten gegeven voor de rapportage van de toetsresultaten.

2.2 Rapportage door de beheerder

De beheerder rapporteert de bevindingen van de toetsing aan Gedeputeerde Staten. De presentatie van de resultaten van de toetsing per dijkkringgebied bestaat uit een schriftelijke rapportage en een digitale rapportage.

2.2.1 Schriftelijke rapportage

De schriftelijke rapportage bevat een beschrijving van het dijkkringgebied met een overzichtskaart en de resultaten van de toetsing aangevuld met:

- de ervaringen opgedaan met het toetsen;
- het gevoerd beheer;
- een plan van aanpak voor voorziene verbeteringen in geval van secties met een eindscore 'onvoldoende';
- een plan van aanpak voor de volgende toetsronde in geval een oordeel niet mogelijk is, opdat de volgende toetsronde wel een eindscore toegekend kan worden.

Het ingevulde hoofdschema per sectie (zie Figuur 2 - 2.2 in Katern 2) dient als uitgangspunt voor de rapportage door de beheerder aan Gedeputeerde Staten. Voor de secties die een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels hebben geeft de beheerder aan welke voorzieningen op welke termijn noodzakelijk geacht worden. Voor secties waarvoor geen eindscore mogelijk is geeft de beheerder aan door welke oorzaak geen eindscore toegekend kan worden, zoals bijvoorbeeld onvoldoende informatie over de waterkering, ontoereikende randvoorwaarden of het ontbreken van een geschikte toetsmethodiek. Tevens geeft de beheerder aan wat wordt ondernomen, opdat bij de eerstvolgende toetsing een eindscore toegekend kan worden.

De eindscores per beoordelingsspoor volgens de toetsingsregels (zie Tabel 2 - 4.1 van Katern 2) en per sectie (zie hoofdstuk 2 van Katern 2) worden vertaald naar het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' of 'voldoet niet aan de norm' voor de sectie en het gehele dijkkringgebied.

De wijze waarop de veiligheid van een dijkkringgebied wordt gepresenteerd kan er uiteindelijk uitzien zoals getoond in het achtergrondrapport bij Primaire waterkeringen getoetst, Landelijke Rapportage Toetsing 2006 [42].

De schriftelijke rapportage bevat tenminste de volgende elementen:

- **Een samenvatting**
Hierin wordt op hoofdlijnen ingegaan op de resultaten van de toetsing.
- **Een beschrijving van het dijkkringsgebied of verbindende waterkering**
De beschrijving geschiedt door de beheerder; ingeval van meerdere beheerders binnen één dijkkringsgebied wordt in onderling overleg een totale beschrijving gemaakt. Hierbij dienen minimaal de volgende aspecten te worden behandeld:
 - een globale beschrijving van het waterkeringstelsel;
 - de categorieën primaire waterkeringen;
 - een overzicht van alle kunstwerken (inclusief type-aanduiding I, II, III of IV);
 - de lengte (in km) van de diverse onderdelen;
 - de bedreiging (zee, rivier of meer);
 - de veiligheidsnorm;
 - de verantwoordelijke beheerders.

Voor een aantal aspecten kan gebruik gemaakt worden van of verwezen worden naar het door het Rijk aan te leveren GIS-bestand voor de digitale rapportage van de toetsresultaten.

- **De toetsresultaten**
met als afzonderlijk te onderscheiden elementen:
 - het veiligheidsoordeel voor het dijkkringsgebied en per sectie
Hier worden het veiligheidsoordeel voor het gehele dijkkringsgebied en de veiligheidsoordelen per sectie gerapporteerd. Daarnaast wordt per sectie, waarvoor het beheerdersoordeel afwijkt van de eindscore volgens de toetsingsregels, de afweging aangegeven voor de keuze tussen de eindscore volgens de toetsingsregels en het beheerdersoordeel;
 - de resultaten volgens de toetsingsregels
Hier worden de diepgang en omvang van de toetsing beschreven en worden de eindscores volgens de toetsingsregels per sectie toegelicht. De diepgang en score per toetsspoor worden gerapporteerd in de digitale rapportage (zie § 2.2.2 van dit katern);
 - het beheerdersoordeel
Hier wordt het eigen oordeel van de beheerder over de waterkering gerapporteerd. Op grond van eigen ervaringen of op grond van kennis die niet wordt gebruikt in de toetsing volgens de toetsmethodes komt de beheerder tot een eigen oordeel over de waterkering.
 - de presentatie van de resultaten
Bij dijken en dammen worden per sectie tenminste de volgende resultaten gepresenteerd:
 - de situering en de bijbehorende lengte in km. De situering kan worden aangegeven in dijkpaalnummers, hectometrering of kilometrering. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van of verwezen worden naar het door het Rijk te leveren GIS-bestand met gegevenstabel;
 - de eindscore per methode en per hoofdspoor. De score per toetsspoor/deelspoor wordt vermeld in de digitale rapportage (zie § 2.2.2 van dit katern);
 - een bijlage met het lengteprofiel, waarin Toetspeil, toetshoogte en dijktafelhoogte zijn aangegeven ten behoeve van de toets op de kruinhoogte (HT).

Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van het door het rijk aan te leveren GIS-bestand met gegevenstabel, aangevuld met informatie van de beheerder.

Bij niet-waterkerende objecten (bebouwing, kokervormige constructies, overige constructies en objecten en begroeiing) wordt op een aparte bijlage per object een inventarisatie gemaakt van alle aspecten, die van belang zijn voor de beoordeling van de invloed hiervan op het waterkerend vermogen.

- ***Ervaringen met de toetsing***

Hier vermeldt de beheerder de ervaringen die zijn opgedaan, zoals:

- ontoereikende Hydraulische Randvoorwaarden (HR2006);
- onduidelijkheden in dit voorschrift, TAW/ENW-leidraden of andere richtlijnen en normen;
- het niet beschikken over voldoende gegevens om de toetsing uit te voeren;
- aspecten waarbij de beheerder is afgeweken van de HR2006 of dit voorschrift;
- overige ervaringen.

- ***Gevoerd beheer en plan van aanpak voor voorziene verbeteringen***

Hierbij wordt ingegaan op:

- het gevoerde beheer;
- de uit de toetsing voortvloeiende beheermaatregelen;
- de eventueel nog niet getoetste onderdelen;
- uit te voeren nader onderzoek voor reeds getoetste onderdelen;
- voorgenomen verbeteringen (versterkingen);
- planning van de acties;
- eventuele verschillen in inzicht met andere overheden ten aanzien van beleid dat risico's inhoudt of schadelijk is voor het beheer van de waterkering.

- ***Overzichtskaart***

Bij de schriftelijke rapportage dient tenminste een overzichtskaart van het dijkkringgebied of de verbindende waterkering te worden gevoegd met:

- de kilometrering;
- een onderscheid in categorieën primaire waterkeringen (a, b, c of d);
- een onderscheid in constructietype (dijken, dammen, duinen, hoge gronden, kunstwerken en niet-waterkerende objecten);
- eventueel een aparte overzichtskaart waarop de kunstwerken zijn aangegeven;
- eventueel een aparte kaart waarop de niet-waterkerende objecten zijn aangegeven;

Deze overzichtskaart kan opgesteld worden door gebruik te maken van het door het rijk aan te leveren GIS-bestand met gegevenstabel, aangevuld met informatie van de beheerder.

2.2.2 Digitale rapportage

Door het Rijk wordt een GIS-bestand met gegevenstabel beschikbaar gesteld. In dit GIS-bestand is de ligging van de primaire waterkeringen in Nederland opgenomen (XY-coördinaten). In de bijbehorende gegevenstabel zijn een aantal kenmerken van de waterkering opgenomen, zoals beheerder en categorie. Daarnaast zijn in de gegevenstabel kolommen opgenomen voor de rapportage van de resultaten van de toetsing.

In de gegevenstabel bij het GIS-bestand rapporteert de beheerder:

- begin en einde van de sectie (XY-coördinaten). Eventueel kunnen per toetsspoor secties gedefinieerd worden. Zo kan voor bepaling van de macrostabiliteit van een dijk een langere sectie gedefinieerd worden dan voor de diverse soorten bekleding op diezelfde dijk;
- de categorie (a, b, c of d) en type (dijk, dam, duin, kunstwerk, aansluiting);
- de hoogte van de kering op de peildatum (Z-coördinaat);
- de diepgang (eenvoudig, gedetailleerd of geavanceerd) en score volgens de toetsingsregels *per sectie* en *per toetsspoor/deelspoor*;
- de eindscore volgens de toetsingsregels per sectie;
- het beheerdersoordeel per sectie.

Dit bestand met gegevenstabel maakt onderdeel uit van de rapportage door de beheerder aan de Gedeputeerde Staten en komt in plaats van de resultaatstabellen uit bijlage 3 - 1 en 3 - 2 van het VTV2004.

2.3 Rapportage door Gedeputeerde Staten

Gedeputeerde Staten rapporteren de bevindingen van de toetsing aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. De presentatie van de resultaten van de toetsing per dijkkringgebied bestaat uit een schriftelijke rapportage en een digitale rapportage.

Een compleet exemplaar van de rapportage door Gedeputeerde Staten wordt ter kennisneming toegestuurd aan de [Helpdesk Water](#) ten behoeve van het opstellen van een landelijk overzicht van de waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen.

2.3.1 *Schriftelijke rapportage*

De schriftelijke rapportage door Gedeputeerde Staten wordt uitgevoerd per dijkkringgebied. Voor dijkkringgebieden die de provinciegrens overschrijden, wordt door de desbetreffende provincies een gezamenlijke rapportage verzorgd. Hierbij vervult een provincie een coördinerende rol en rapporteert namens de andere provincies.

De schriftelijke rapportage bevat tenminste de volgende elementen:

- een samenvatting, waarin tevens de afwijkingen ten opzichte van de beoordeling van de beheerder worden aangegeven;
- een waterstaatkundige beoordeling van het keringstelsel, waarbij ook de vóór de dijkkringgebieden gelegen primaire waterkeringen worden betrokken. Veelal zal kunnen worden volstaan met een beoordeling van de door de beheerder opgestelde rapportages en eventueel het plaatsen van kanttekeningen daarbij. Bij meerdere beheerders van een samenhangend stelsel van keringen of binnen één dijkkringgebied wordt ook beoordeeld of toetsing en beheer onderling op elkaar zijn afgestemd. Bij één beheerder per dijkkringgebied wordt volstaan met een waardering van de door de beheerder gegeven beoordeling;

-
- een beoordeling van hoge gronden die deel uitmaken van een stelsel dat een dijkkringgebied omsluit. Aangezien hoge gronden geen object zijn van waterstaatszorg worden ze niet getoetst als primaire waterkering. Wel dient te worden aangegeven in hoeverre een dijkkringgebied omsloten is en blijft en hoge grond dus hoge grond blijft. Als hulpmiddel bij de rapportage kan een hoogtekaart opgesteld worden op basis van de laatste versie van het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland), waarop in kleur van toepassing zijnde kritieke hoogtelijnen zijn opgenomen. Het is aan de provincie om de kritieke hoogtelijnen vast te stellen. Gedeputeerde Staten kunnen nadere eisen stellen in het kader van de Ontgrondingenwet of de Wet op Ruimtelijke Ordening. Dit betekent dat dit aspect in de rapportage van de provincie moet worden meegenomen;
 - indien landsgrensoverschrijdende keringen deel uitmaken van het keringstelsel, dan wordt de toestand hiervan zo goed mogelijk gekarakteriseerd. Voor landsgrensoverschrijdende dijkkringgebieden die de provinciegrens overschrijden, wordt door de desbetreffende provincies een gezamenlijke rapportage verzorgd. Hierbij vervult een provincie een coördinerende rol en rapporteert namens de andere provincies;
 - een beoordeling van het gevoerde beheerbeleid en van de voorgestelde maatregelen, die verder reiken dan het gewone onderhoud en eventuele noodzakelijk geachte aanvullingen daarop, waarbij tevens wordt aangegeven hoe deze zich verhouden tot in het kader van provinciale verordeningen op te stellen plannen (calamiteitenplan, overzichtskaart, beheersplan, legger en technisch beheersregister);
 - een verslag van met de beheerder gevoerd overleg over de rapportage, de wijze van beheer, het plan van aanpak voor voorziene verbeteringen, het nader uit te voeren onderzoek, de te nemen verbeteringsmaatregelen en gesignaleerde tekortkomingen; uit dit verslag moet blijken waarin een en ander heeft geresulteerd, dan wel naar het oordeel van Gedeputeerde Staten zal moeten resulteren.

2.3.2 *Digitale rapportage*

De digitale rapportage door Gedeputeerde Staten is gelijk aan de digitale rapportage door de beheerder (zie § 2.2.2 van dit katern), met dien verstande dat gerapporteerd wordt per dijkkringgebied.

3 Handreiking voor plan van aanpak bij rapportage

3.1 Algemeen

Indien de toestand van de kering daartoe aanleiding geeft, bevatten de rapportages omschrijvingen van de 'voorzieningen' die nodig geacht worden om het waterkerend vermogen weer op peil te brengen (bij de eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsregels). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen vast onderhoud, variabel onderhoud, verbeteringswerken en herstelmaatregelen (zie hoofdstuk 1 van Katern 2). Tevens dient een globaal plan van aanpak (inclusief planning) te worden opgenomen voor het tot stand brengen van de nodig geachte voorzieningen.

Voor de beoordelingssporen (zie Tabel 2 - 4.1 in Katern 2) en de secties waarvoor een eindscore niet mogelijk is dient in de rapportage een globaal plan van aanpak (inclusief planning) te worden opgenomen om bij de eerstvolgende toetsronde wel een eindscore toe te kunnen kennen.

In dit plan van aanpak dient aandacht te worden besteed aan:

- de inwinning van de benodigde informatie voor die beoordelingssporen en secties waarvoor een eindscore niet mogelijk is vanwege gebrek aan gegevens;
- het uit te voeren nader onderzoek om tot een eindscore volgens de toetsingsregels te komen;
- het gevoerde beheer en de uit de toetsing voortvloeiende beheermaatregelen.

Voor dijkkringgebieden in het boven- of benedenrivierengebied waarvan een of meer dijksecties de eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels hebben, worden in § 3.2 van dit katern handreikingen gegeven voor het op te stellen plan van aanpak. In § 3.3 van dit katern worden aanwijzingen gegeven voor het op te stellen plan van aanpak voor duinsecties met een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels.

3.2 Rivierdijken met een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels

M

In het rivierengebied, inclusief het gebied van de Maaskaden, worden tot 2015 rivierverruimingsmaatregelen uitgevoerd die zullen leiden tot verlaging van de maatgevende waterstanden. De toetsing wordt echter uitgevoerd met de HR2006 (de maatgevende waterstanden op de peildatum), waarin dus niet alle effecten van rivierverruiming zijn verwerkt. Het resultaat van de toetsing wordt bepaald op basis van deze Toetspeilen. Indien dit leidt tot een score 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels, kan in de rapportage over voorziene verbeteringswerken worden verwezen naar de voor de betreffende situatie relevante voorgenomen rivierverruimingsmaatregelen en beheermaatregelen die nog op stapel staan.

m

3.3 Duinsecties met een eindscore 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels

De toetsing van duinsecties richt zich op het grensprofiel, zoals dit is vastgelegd in de legger. Daarbij worden aspecten die buiten de invloed van de beheerder vallen niet meegenomen bij de beoordeling, zoals door het Rijk uit te voeren zandsuppleties of buiten de leggergrenzen gelegen duingebied.

Indien het in de legger vastgelegde grensprofiel op de peildatum de eindscore 'onvoldoende' heeft volgens de toetsingsregels, betekent dit nog niet dat verbeteringswerken moeten worden voorgenomen. Bij het opstellen van het plan van aanpak om de situatie te verbeteren kan mogelijk worden volstaan met:

- een verwijzing naar een reeds voorgenomen zandsuppletie;
- een aanpassing van de legger binnen de bestaande leggergrenzen, bijvoorbeeld door het vaststellen van een nieuw grensprofiel;
- een aanpassing van de legger tot buiten de bestaande leggergrenzen, inclusief het vaststellen van een nieuw grensprofiel.

Indien een van bovengenoemde maatregelen of een combinatie daarvan niet voldoende blijkt te zijn zullen verdergaande verbeteringswerken moeten worden voorgenomen in het plan van aanpak, zoals het inbrengen van extra zand in het profiel of het uitvoeren van verbeteringswerken.

Katern 4

Belastingen

1 Inleiding

De staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat heeft in de Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006) [45] de hydraulische randvoorwaarden vastgesteld voor de periode 2006-2011. Hierin is tevens aangegeven hoe deze hydraulische randvoorwaarden moeten worden gebruikt bij het toetsen op veiligheid. Dit voorschrift wordt gebruikt samen met HR2006.

Dit katern geeft een toelichting op het gebruik van de HR2006 in combinatie met de toetsingsregels in dit voorschrift. Daarnaast is een toelichting gegeven op de vertaling van hydraulische randvoorwaarden van randvoorwaardenlocaties bij havenmondingen naar locaties in de betreffende haven en is aanvullend op HR2006 een uitbreiding naar niet-hydraulische randvoorwaarden en belastingen gegeven.

Om de veiligheid te garanderen tot de volgende peildatum is het jaar 2011 referentiejaar voor de waterstanden en bijbehorende golven waarmee moet worden getoetst. Deze waterstanden (hierna te noemen: Toetspeilen en Rekenpeilen) en bijbehorende golfparameters zijn opgenomen in HR2006.

2 Toelichting bij HR2006

2.1 HR2006

De HR2006 [45] bestaan uit een DVD en een boek. De DVD bevat de rekenmodellen waarmee de HR2006 per locatie dienen te worden berekend. Uitzonderingen zijn de Hydraulische Randvoorwaarden voor de keringen langs de Waddenzee en de zandige kust, deze zijn in het boek bij de HR2006 opgenomen.

Dit boek beschrijft tevens de berekeningsmethodes en uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de HR2006 en geeft het een overzicht van Toetspeilen, Rekenpeilen, golfrandvoorwaarden en waterstandsverlooptlijnen.

De HR2006 worden gebruikt voor de toetsing op veiligheid van primaire waterkeringen van de categorieën a en b (zie hoofdstuk 2 van Katern 1). Voor de primaire waterkeringen van de categorie c zijn geen hydraulische randvoorwaarden vastgesteld; dit gebeurt naar verwachting eind 2008 (zie § 2.3 in Katern 2).

De rekenmodellen op de DVD bevat de volgende afzonderlijke rekenmodellen om de hydraulische randvoorwaarden te bepalen:

- HYDRA-B voor het Benedenrivierengebied;
- HYDRA-VIJ voor een gedeelte van de Vechtdelta;
- HYDRA-M en HYDRA-Q voor het IJsselmeer en het Markermeer;
- HYDRA-K voor de Hollandse en Zeeuwse kust en de Ooster- en Westerschelde;
- HYDRA-R voor het Bovenrivierengebied (inclusief de IJsseldelta, een gedeelte van de Vechtdelta en de Limburgse Maas).

Voor de Waddenzee is alle beschikbare informatie in het boek bij de HR2006 opgenomen.

2.2 Hydraulische parameters

Hydraulische parameters zijn rekengrootheden betreffende waterstanden (o.a. Toetspeil en Rekenpeil), lokale toeslagen op die waterstanden en golven (o.a. golfhoogte, golfperiode). De benodigde hydraulische parameters verschillen per watersysteem, waterkeringstype en mechanisme waarop wordt getoetst. In Katern 5 tot en met Katern 10 van dit voorschrift en in Tabel 4 - 2.1 zijn de hydraulische parameters aangegeven die benodigd zijn en de wijze waarop deze moeten worden gebruikt. In dit katern wordt de bepaling van de hydraulische parameters toegelicht.

2.2.1 Waterstanden

Toetspeilen en Rekenpeilen kunnen worden bepaald met de HYDRA-modellen op de DVD bij HR2006 [45]. Indien de HYDRA-modellen niet de informatie opleveren die nodig is, kan uitgegaan worden van de in het boek bij HR2006 gegeven hydraulische randvoorwaarden, inclusief Toetspeilen en Rekenpeilen. Voor waterkeringen met toetssporen die op een maatgevende combinatie van waterstand en golven worden getoetst, kan deze combinatie worden bepaald met de verschillende HYDRA-rekenmodellen.

In het HR2006 [45] is per watersysteem aangegeven op welke manier de waterstand voor de beoordeling op hoogte, stabiliteit bekledingen en overige mechanismen kan worden bepaald.

Toetspeilen en Rekenpeilen

De bij de HR2006 [45] geleverde DVD bevat de HYDRA-rekenmodellen voor de verschillende watersystemen, waarmee de hydraulische randvoorwaarden, inclusief Toetspeilen en Rekenpeilen, bepaald kunnen worden. Indien de HYDRA-modellen niet de informatie opleveren die nodig is, kan uitgegaan worden van de in het boek bij HR2006 gegeven hydraulische randvoorwaarden, inclusief Toetspeilen en Rekenpeilen.

Lokale toelagen

Voor de beoordeling van de waterkeringen wordt uitgegaan van Toetspeil + lokale toelagen. Deze lokale toelagen zijn:

- bochtwerking en lokale opstuwing in uiterwaarden;
- lokale opwaaiing;
- buistoten, bui-oscillaties en seiches;
- slingeren.

Al deze toelagen zijn verwerkt in de verschillende HYDRA-rekenmodellen¹ met uitzondering van:

- de toelag voor slingeren op het IJsselmeer;
- de toelag voor buistoten, bui-oscillaties en seiches voor de kust.

Deze toelagen moeten handmatig worden toegevoegd, waarbij opgemerkt wordt dat de toelagen voor de kust alleen van belang zijn voor havens langs de kust.

Tabel 4 - 2.1 geeft voor de verschillende types waterkeringen en watersystemen en per toetspoot een overzicht van de bijdragen aan de hydraulische randvoorwaarden die in rekening gebracht moeten worden.

Daar waar in dit voorschrift Toetspeil + toelagen wordt genoemd kunnen met behulp van Tabel 4 - 2.1 de toelagen bepaald worden die in rekening gebracht moeten worden.

¹ De toelagen voor bochtwerking, lokale opstuwing en lokale opwaaiing zijn alleen opgenomen in de **oever**locaties van HYDRA-R, -B en -VIJ en dus niet in de **as**locaties.

Tabel 4 - 2.1

In rekening te brengen bijdragen aan de hydraulische randvoorwaarden per toetsspoor

Type waterkering	Watersysteem	HYDRA-reken-model	In rekening te brengen bijdrage aan de hydraulische randvoorwaarden per toetsspoor						
			Toetspeil	Rekenpeil ¹⁾	Lokale toeslagen				Golven (incl. deining)
					Bochtwerking / lokale opstuwing	Lokale opwaaiing	Buistoten, bui-oscillaties en seiches	Slingeringen	
Dijken	Bovenrivieren ²⁾	R	HT, ST	-	HT, ST	-	-	-	HT, STBK
	Benedenrivieren ³⁾	B, VIJ	HT, ST	-	HT, ST ⁶⁾	HT, STBK	HT ⁷⁾	-	HT, STBK
	Kust ⁴⁾	K	HT, ST	-	-	-	HT ⁸⁾	-	HT, STBK
	Meren ⁵⁾	M, Q	HT, ST	-	-	HT, STBK	-	HT	HT, STBK
Maaskaden	Bovenrivieren ²⁾	R	HTL, HTG, ST	-	HTL, HTG, ST	-	-	-	-
(Haven-) dammen	Bovenrivieren ²⁾	R	HT, ST	-	HT, ST	-	-	-	HT, STBK
	Benedenrivieren ³⁾	B, VIJ	HT, ST	-	HT, ST ⁶⁾	HT, STBK	HT ⁷⁾	-	HT, STBK
	Kust ⁴⁾	K	HT, ST	-	-	-	HT ⁸⁾	-	HT, STBK
	Meren ⁵⁾	M, Q	HT, ST	-	-	HT, STBK	-	HT	HT, STBK
Duinen	Kust ⁴⁾	K	-	DA ⁹⁾	-	-	-	-	DA ⁹⁾
Waterkerende kunstwerken	Bovenrivieren ²⁾	R	HT, ST	-	HT, ST	-	-	-	HT, STCO
	Benedenrivieren ³⁾	B, VIJ	HT, ST	-	HT, ST ⁶⁾	HT, STCO	HT ⁷⁾	HT	HT, STCO
	Kust ⁴⁾	K	HT, ST	-	-	-	HT	HT	HT, STCO
	Meren ⁵⁾	M, Q	HT, ST	-	-	HT, STCO	-	-	HT, STCO

1) Rekenpeil = Toetspeil + 2/3 decimeringshoogte

2) Bovenrivieren, inclusief de IJsseldelta, een gedeelte van de Vechtdelta en de Maas in Limburg;

3) Benedenrivieren, inclusief een gedeelte van de Vechtdelta;

4) Kust, inclusief de estuaria (Westerschelde);

5) Meren: IJsselmeer en Markermeer.

6) Alleen in de Vechtdelta.

7) Alleen in het benedenrivierengebied ten westen van de Europoortkering.

8) Alleen in havens

9) Duinvoetverdedigingen, NWO's in duinen en aansluitconstructies worden ook getoetst bij toetsspoor DA.

2.2.2 Golven

Golfrandvoorwaarden worden bepaald met de HYDRA-rekenmodellen die worden meegeleverd op de DVD bij HR2006 [45]. Indien de HYDRA-modellen niet de informatie opleveren die nodig is, kan uitgegaan worden van de in het boek bij HR2006 gegeven hydraulische randvoorwaarden, inclusief golfrandvoorwaarden. Per watersysteem is een HYDRA-rekenmodel beschikbaar (zie § 2.1 van dit katern). Voor het gebruik van HYDRA-rekenmodellen moeten de betreffende gebruikershandleidingen worden geraadpleegd. Golfrandvoorwaarden zijn nodig voor de beoordeling van de hoogte (Katern 5 en Katern 7) en voor de beoordeling van de stabiliteit van bekledingen (Katern 8).

Golfreductie

In het gebied tussen het uitvoerpunt van de HYDRA-rekenmodellen en de waterkering kunnen de golfrandvoorwaarden worden beïnvloed door obstakels of ondiepten. Het effect van golfreducerende obstakels of ondiepten kan worden meegenomen in de toetsing. Golfreductie is met name van belang indien de hoogte of de bekleding van de waterkering niet voldoet in de situatie waarin eventueel aanwezige obstakels niet meegenomen zijn in de bepaling van de golfrandvoorwaarden.

Indien een waterkering niet voldoet zonder dat golfreductie in rekening is gebracht, dient alsnog de golfreductie te worden bepaald en dient de toetsing alsnog te worden uitgevoerd met inachtneming van de golfreductie.

De belangrijkste golfreducerende invloeden zijn van ondiepe voorlanden en havendammen. Ondiepe voorlanden kunnen kadeterreinen, uiterwaarden, schorren of slikken of ander buitendijks gebied zijn. Ondiep voorland leidt tot een beperkte waterdiepte waardoor golven breken en afnemen in hoogte. Havendammen kunnen golven doen breken en beperken de indringing van golven in havens. Om te voorkomen dat voor alle (voor)havens en voorlanden direct complexe en geavanceerde modelstudies uitgevoerd dienen te worden, zijn er in het kader van de toetsing meerdere in moeilijkheidsgraad oplopende mogelijkheden ontwikkeld om golfreductie te bepalen. Zo kan de golfreductie bepaald worden binnen het toetsingskader met de HYDRA-rekenmodellen of met het rekenmodel bij 'Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden' [23].

In Figuur 4 - 2.1 is de werkwijze voor het in rekening brengen van golfreductie schematisch weergegeven van eenvoudig naar complex en geavanceerd. Opgemerkt wordt dat dit geen beoordelingsschema is, maar een handreiking aan de toetsers. De stappen in het schema worden hieronder toegelicht.

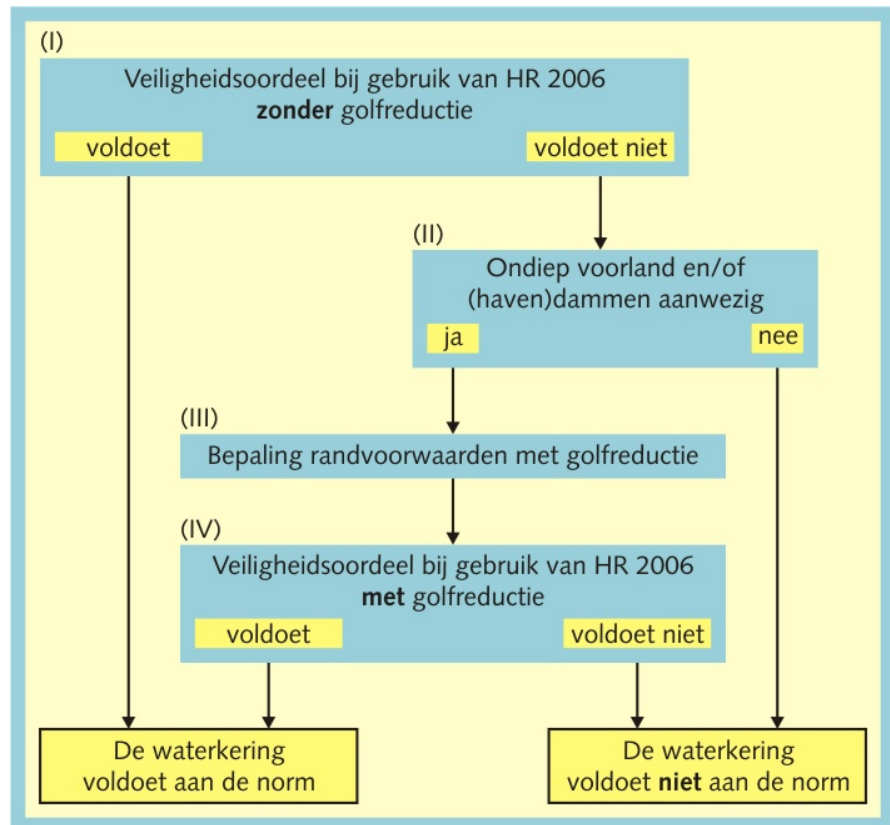
Stap I: Veiligheidsoordeel bij gebruik van HR2006 zonder golfreductie

De eerste stap is de beoordeling van de waterkering bij gebruik van de hydraulische randvoorwaarden zonder golfreductie. Hiervoor worden de hydraulische randvoorwaarden uit HR2006 gebruikt. Meestal dienen deze te worden uitgerekend met behulp van de HYDRA-rekenmodellen, eventueel zonder rekening te houden met de aanwezigheid van voorland (zonder gebruik van de voorlandmodule). De beoordeling vindt plaats volgens Katern 5 tot en met Katern 10. De toetsing omvat in deze stap zo nodig de toetsing van eenvoudig, via gedetailleerd naar geavanceerd niveau.

Indien de eindscore '*goed*' of '*voldoende*' is, voldoet de waterkering aan de norm en hoeft geen rekening gehouden te worden met golfreductie door ondiepe voorlanden of door havendammen.

Figuur 4 - 2.1

Werkwijze meenemen golfreductie door ondiepe voorlanden en (haven)dammen



Stap II: Aanwezigheid van ondiepe voorlanden of (haven)dammen

Bij de toetsing mag alleen worden uitgegaan van golfreductie door ondiepe voorlanden of (haven)dammen als deze op de peildatum aanwezig zijn en voldoen aan de norm.

De aanwezigheid van voorland is alleen relevant voor de toetsing indien aan alle volgende voorwaarden is voldaan:

- de afstand tussen het uitvoerpunt van het HYDRA-model en de waterkering is groter dan de halve golflengte op diep water. De golflengte op diep water (L_{op}) wordt bepaald uit de piekperiode T_p volgens $L_{op} \approx g T_p^2 / (2 \cdot \pi)$, waarbij g de zwaartekrachtversnelling is ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$);
- de diepte van het voorland is niet groter dan $3 \cdot H_s$;
- de helling van het voorland is gelijk aan 1:10 of flauwer;
- indien de hoek tussen de dijknormaal en de golfvoortplantingsrichting groter is dan 45° .

(Haven)dammen worden beoordeeld volgens hoofdstuk 5 van Katern 5 en voorlanden worden beoordeeld volgens Katern 9. Indien een (haven)dam of voorland de eindscore 'goed' of 'voldoende' toegekend krijgt, mag de invloed hiervan op de golfrandvoorwaarden worden meegenomen in de toetsing van de achterliggende waterkering, mits voor voorlanden voldaan is aan de hiervoor genoemde voorwaarden. De invloed op de golfrandvoorwaarden wordt bepaald in stap III.

Indien geen sprake is van ondiepe voorlanden die aan alle hiervoor genoemde voorwaarden voldoen en/of geen sprake is van (haven)dammen, dan is het oordeel uit stap I direct het eindoordeel.

Stap III: Bepaling randvoorwaarden met golfreductie

Indien volgens stap II de aanwezigheid van (haven)dammen en ondiepe voorlanden relevant is, worden de golfrandvoorwaarden opnieuw bepaald met medeneming van golfreductie. Voor het bepalen van de golfreductie zijn verschillende methodes beschikbaar. De mate waarin deze aansluiten op het toetsinstrumentarium verschilt.

De verschillende methodes voor de bepaling van de golfreductie zijn:

- ***gebruik van HYDRA-rekenmodellen***
In de HYDRA-rekenmodellen is de mogelijkheid aanwezig om de golfreductie ten gevolge van ondiepe voorlanden of de aanwezigheid van (haven)dammen mee te nemen in de bepaling van de randvoorwaarden. De invloed van ondiep voorland kan worden bepaald door het voorland te betrekken in het dwarsprofiel, de voorlandmodule te gebruiken of door de bodemdiepte aan te passen in het onderliggende GIS-bestand. Het effect van een (haven)dam kan meegenomen worden door deze aan te vinken bij de selectie van het dwarsprofiel.
Voor het gebruik van de HYDRA-rekenmodellen wordt verwezen naar de bijbehorende gebruikershandleiding.
De HYDRA-rekenmodellen kunnen alleen gebruikt worden voor het bepalen van golfreductie bij eenvoudige geometrieën (maximaal 3 taluddelen) waarbij geen sprake is van mogelijke driedimensionale effecten. Indien de HYDRA-rekenmodellen niet geschikt zijn voor het bepalen van de golfreductie kan gebruik gemaakt worden van een van de twee hierna genoemde methodes;
- ***'Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden' [23]***
Voor havenbekkens kan de golfreductie worden bepaald met behulp van het rekenmodel bij 'Golfbelasting in havens en afgeschermd gebieden' [23]. In [23] staan voorwaarden genoemd voor de toepassing van deze methode. Indien niet aan deze voorwaarden wordt voldaan kan gebruik gemaakt worden van de hierna genoemde methode;
- ***Modelstudies***
Met behulp van complexe golfvoorspellingsmodellen zoals SWAN en ENDEC kunnen golfrandvoorwaarden aan de voet van de waterkering worden bepaald. Dit is specialistisch werk dat als geavanceerd bestempeld kan worden.

De golfrandvoorwaarden die in deze stap zijn bepaald, worden gebruikt voor de beoordeling van de waterkering in stap IV.

Stap IV: Beoordeling van de waterkering bij gebruik van HR2006 met golfreductie

De waterkering wordt beoordeeld met de gereduceerde golfrandvoorwaarden uit stap III.

De toetsing wordt uitgevoerd volgens Katern 5 tot en met Katern 10. Het resultaat van deze beoordeling is het veiligheidsoordeel van de betreffende sectie.

De eindscore van de havendam maakt onderdeel uit van de rapportage indien de aanwezigheid van de (haven)dam noodzakelijk is voor het voldoen van de achterliggende waterkering. Indien de aanwezigheid van de voorlanden en/of de (haven)dam noodzakelijk is voor het voldoen aan de norm van de waterkering, dan is het aan te bevelen deze op te nemen in de legger.

2.2.3 Waterstandsverlopen en afvoergolven

Waterstandsverlopen en de vorm van de afvoergolven zijn van belang voor de beoordeling van de stabiliteit van dijken en dammen (Katern 5) en van bekledingen (Katern 8).

Bovenrivierengebied

Waterstandsverlopen in het bovenrivierengebied worden afgeleid met behulp van de afvoergolven die in § 2.4.2 van HR2006 [45] zijn gepresenteerd. Indien van toepassing, zoals bij de toetsing van een grasbekleding, wordt voor de duur van de storm 12 uur aangehouden, met uitzondering van deelgebied 2 in het benedenrivierengebied (zie figuur 2-4 in HR2006 [45]) waar uitgegaan wordt van een stormduur van 35 uur.

Benedenrivierengebied

Voor het benedenrivierengebied zijn in § 2.4.4 van [45] voor een vijftal deelgebieden standaard waterstandsverlooptijnen gepresenteerd. Indien van toepassing, zoals bij de toetsing van een grasbekleding, wordt voor de duur van de storm 12 uur aangehouden, met uitzondering van deelgebied 2 in het benedenrivierengebied (zie figuur 2-4 in HR2006 [45]) waar uitgegaan wordt van een stormduur van 35 uur.

IJssel- en Vechtdelta

Voor de IJssel- en Vechtdelta zijn geen waterstandsverlopen beschikbaar.

Mereengebied

Voor waterstandsverlopen in het mereengebied die het gevolg zijn van stormopzet kan de in § 2.5 van [45] gepresenteerde standaard waterstandsverlooptlijn gebruikt worden.

Noordzee en Westerschelde

Waterstandsverlopen voor de Noordzee en Westerschelde zijn het gevolg van stormopzet en getijden. In § 2.6.2 respectievelijk § 2.6.3 van [45] is de standaard waterstandsverlooptlijn gepresenteerd.

Waddenzee

Voor de Waddenzee zijn geen waterstandsverlopen beschikbaar.

Oosterschelde

De aanwezigheid van de stormvloedkering op de Oosterschelde beïnvloedt het waterstandsverloop op de Oosterschelde. In § 2.6.4 van [45] is de waterstandsverlooptlijn voor de Oosterschelde gepresenteerd.

2.2.4 Stromingsnelheden

Stroming als hydraulische randvoorwaarde voor de toetsing is alleen van belang voor condities waarbij water door kunstwerken stroomt of langs steenbekledingen stroomt. Voor zover stroming van belang is, wordt hier aandacht aan besteed in de betreffende katernen: Katern 7 voor kunstwerken en Katern 8 voor steenbekledingen.

3 Overige belastingen

3.1 Algemeen

Overige belastingen kunnen worden omschreven als invloeden of processen die de stabiliteit van de kering bedreigen, anders dan hydraulische of grondmechanische belastingen.

In het geval van bijzondere constructies zal altijd moeten worden nagegaan of sprake is van belastingen, anders dan hydraulische, grondmechanische of constructie gerelateerde belastingen.

In dit hoofdstuk komen aan de orde:

- wind (§ 3.2);
- ijs (§ 3.3);
- verkeer (§ 3.4);
- schepen en drijvende voorwerpen (§ 3.5);
- aardbevingen en aardshokken (§ 3.6);

Het voorkómen en herstellen van biologische, chemische en klimatologische aantasting, alsmede aantasting als gevolg van recreatie en vandalisme maken onderdeel uit van normaal beheer en onderhoud en worden niet behandeld in dit voorschrift.

Het is denkbaar dat vloedgolven als gevolg van bijvoorbeeld het neerstorten van een meteor in de Noordzee of de Noord-Atlantische Oceaan of als gevolg van een aardbeving onder de Noord-Atlantische Oceaan of IJsland de Nederlandse kust kunnen bereiken. Echter, de kans op voorkomen van vloedgolven die gevaar op kunnen leveren voor de Nederlandse waterkeringen langs de kust wordt geacht zodanig klein te zijn dat hierop niet behoeft te worden getoetst.

3.2 Wind

De indirecte invloed van wind op de waterkeringen via waterstand en golven is onderdeel van de berekening van de HR2006 (zie [45]).

De directe invloed van wind is aanwezig in de volgende gevallen:

- zandtransport door wind bij zeeweringen;
- windbelasting, die via bomen en niet-waterkerende constructies wordt overgebracht op de waterkering;
- golfvorming en/of spray bij golfoverslag.

Zandtransport door wind kan aanleiding zijn tot verstuiwing en verwerking van duinen. Dit mechanisme wordt behandeld bij toetsspoor Winderosie WE in Katern 6.

Begroeiing (bomen, struiken) of constructies (windmolens) kunnen windbelasting overbrengen op de waterkerende grondconstructie. Deze belasting kan een nadelige invloed hebben op de stabiliteit van het grondlichaam, met name indien sprake is van verweking of afschuiving. Per geval moet voor de stabiliteit van het grondlichaam worden nagegaan wat het effect is van de windbelasting, er vanuit gaande dat omwaaien en ontworteling van begroeiing en bezwijken van de fundering van constructies niet zullen voorkomen.

Daarnaast moet het effect van eventuele ontworteling van begroeiing of bezwijken van de fundering van constructies worden beschouwd. Dit laatste wordt behandeld in Katern 10.

Het effect van wind op golfvorming en/of spray bij golfoverslag bij zowel taluds als bij verticale constructies is verdisconteerd in de toetsregels.

3.3 IJs

In Nederland bestaat geen regelgeving omtrent de wijze waarop bij het ontwerpen en toetsen van constructies rekening moet worden gehouden met ijsbelasting. De temperatuur en het zoutgehalte van de Noordzee aan de kust geven geen aanleiding tot het ontstaan van ijsvorming van enige betekenis. Op rivieren, meren en (afgesloten) zeearmen zijn wel gevallen bekend van significante ijsvorming.

Ijs levert geen situaties op die bij de toetsing van waterkeringen moeten worden meegenomen, doordat de kans op combinatie met hoge waterstand en zware golfaanval te klein is. Daarmee is belasting door ijs wel een aspect om rekening mee te houden bij het ontwerpen en beheren van waterkeringen, maar niet voor de toetsing.

Waterstandsverhoging tengevolge van ijsgang speelt mogelijk een rol bij bovenrivieren; deze invloed is verwerkt in de minimaal vereiste kruinhoogtemarge.

Het voorkomen van blokkering van afsluitmiddelen door ijs door middel van gangbaar houden of tijdig sluiten valt onder het normale beheer (zie Katern 7).

3.4 Verkeer

Verkeersbelasting wordt alleen in rekening gebracht bij dijken en dammen. Voor de in specifieke gevallen in rekening te brengen belastingen wordt verwezen naar bijlage 2.A van de Handreiking Constructief ontwerpen [7].

3.5 Schepen en drijvende voorwerpen

3.5.1 *Hydraulische belasting als gevolg van langsvarende schepen*

De waterbeweging als gevolg van langsvarende schepen bestaat uit:

- een primaire scheepsgolf: frontgolf, tijdelijke waterspiegeldaling en haalgolf;
- een secundaire scheepsgolf: boeg- en/of hekgolf;
- stroming: retourstroom en stroming door de schroefstraal.

In het algemeen zal een scheepsgeïnduceerde belasting geen rol spelen bij de toetsing. Mocht een beheerder hierover in twijfel verkeren, dan wordt aanbevolen contact op te nemen met de Helpdesk Water.

Het herstellen van eventuele schade door scheepsgeïnduceerde belastingen valt onder normaal beheer.

3.5.2 Aanvaringen

Aan de kust zal onder normale omstandigheden een aanvaring van een schip met een dijk zelden voorkomen. Echter, juist als het stormt kan een schip stuurloos of op drift raken en de waterkering treffen. De gevolgen zijn op dat moment het grootst. Ten eerste is de kracht waarmee het schip de dijk treft groot, ten tweede is er een hoge waterstand en zijn er hoge golven, zodat een eventueel opgetreden initiële schade zich snel kan uitbreiden. Hierdoor kan een stranding van een schip een reëel gevaar vormen voor een dijkdoorbraak.

Aan de rivieren is de situatie tijdens storm minder maatgevend. Als een schip stuurloos is, bestaat de mogelijkheid dat het op een dijk loopt. De snelheid en de hoek waarmee het schip de dijk raakt is dan bepalend voor de schade. Overigens zal op de rivieren bij een zeer hoge waterstand de scheepvaart zijn stilgelegd.

Aanvaringen worden als toetsbelasting voor grondlichamen (zie Katern 5 en Katern 6) in dit voorschrift niet meegenomen, wel bij de toetsing van afsluitmiddelen in kunstwerken (zie Katern 7).

Drijvend vuil en wrakhout zijn in het algemeen te klein om serieuze schade aan een grondlichaam of een bekleding te veroorzaken; beschadiging van een grasbekleding is wel mogelijk, maar wordt niet behandeld in het kader van de toetsing.

3.6 Aardbevingen en aardshokken

In zuidoost Nederland (provincie Limburg, het oostelijk deel van Noord-Brabant en zuidoost Gelderland) is de kans op een aardbeving met een intensiteit die schade tot gevolg kan hebben, ongeveer 1/1.000 per jaar. In de regio's Groningen/Roswinkel en Bergen/Alkmaar kunnen aardshokken voorkomen die het gevolg zijn van aardgaswinning. In de overige delen van het land is de kans op aardbevingen of aardshokken aanzienlijk kleiner.

Omdat een aardbeving en extreem hoog water twee onafhankelijke gebeurtenissen zijn, is de bijdrage aan de kans op falen van de waterkering te verwaarlozen. Bovendien zal de schade bij waterkeringen met een taludhelling van 1:3 of flauwer slechts in bijzondere gevallen (als de ondergrond bestaat uit zeer los gepakt zand) gepaard gaan met afname van de kerende hoogte. Zowel de kans op een aardbeving tijdens hoogwater als het effect van een aardbeving op een waterkering zijn dusdanig klein dat waterkeringen niet getoetst worden op dit belastinggeval.

Katern 5

Dijken en dammen

1 Inleiding

M *m*

1.1 Definitie en afbakening

In dit katern wordt de toetsing behandeld van dijken en dammen. Dijken en dammen kunnen allebei worden gedefinieerd als door mensen gemaakte waterkerende grondlichamen, waarbij voor een dijk geldt dat die ligt op de grens van land en water, terwijl een dam aan beide zijden wordt omgeven door water.

Vanwege het specifieke karakter van de Maaskaden en de eisen die hieraan gesteld worden voor wat betreft de hoogte is in dit katern een aparte paragraaf opgenomen voor de beoordeling van de hoogte van Maaskaden (zie § 4.1.2).

Behalve de toetsing van dijken en dammen zelf wordt in dit katern ook de toetsing besproken van havendammen (zie hoofdstuk 5 van dit katern) en van de aansluiting van dijken of dammen op hoge gronden (zie hoofdstuk 6 van dit katern). De aansluiting van dijken en dammen op de andere types waterkeringen wordt in andere katernen behandeld: de aansluiting op duinen in Katern 6 en de aansluiting op waterkerende kunstwerken in Katern 7.

1.2 Faalmechanismen en beoordelingssporen

Figuur 5 - 1.1 toont de belangrijkste faalmechanismen van een dijk of dam.

Bij een te lage kruin kan door overloop of golfoverslag te veel water in de polder komen, of kunnen kruin en binnentalud door erosie of verweking worden aangetast, mogelijk leidend tot doorbraak.

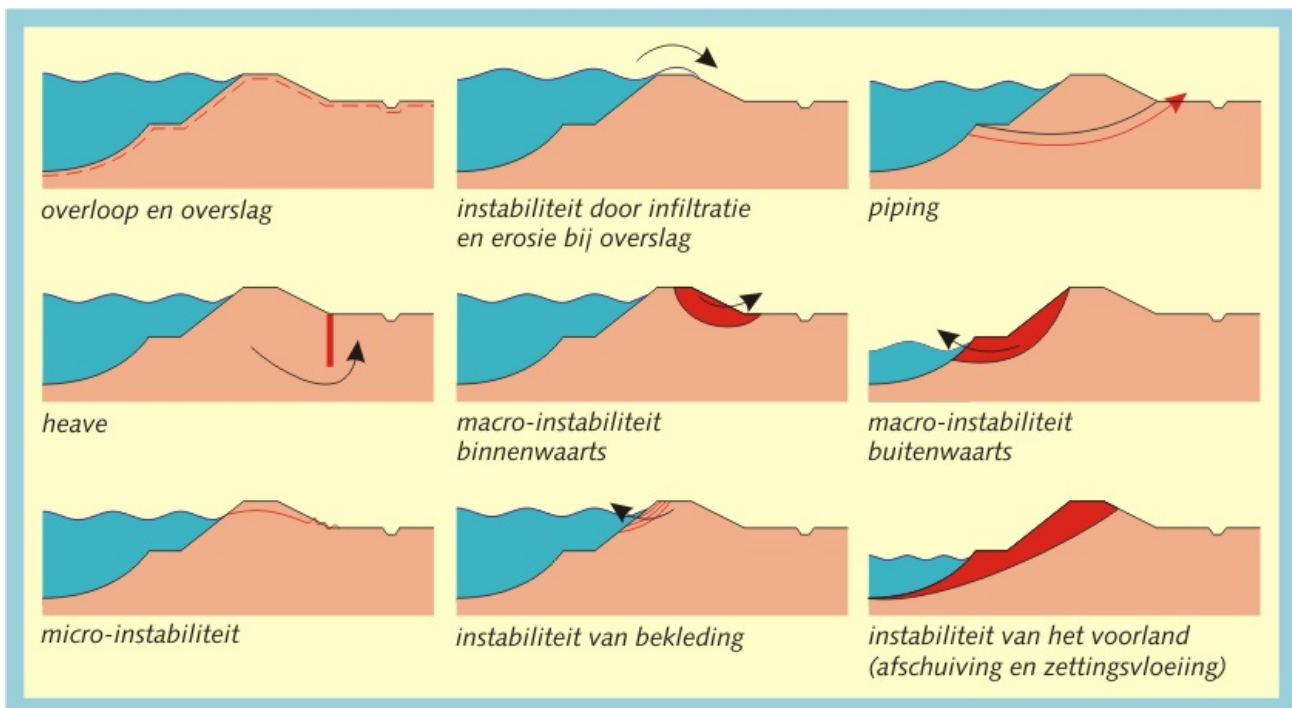
Als de kruin wel hoog genoeg is, kan de stabiliteit van een dijk worden aangetast door de volgende mechanismen:

- interne erosie van materiaal uit een watervoerende zandlaag die aan de bovenzijde is begrensd door een cohesieve laag, ten gevolge van een sterke kwelstroom (piping);
- drijfzand ter plaatse van verticaal uittredend grondwater (heave);
- binnenwaartse diepe afschuiving (binnenwaartse macro-instabiliteit);
- buitenwaartse diepe afschuiving, bijvoorbeeld bij lage buitenwaterstand (buitenwaartse macro-instabiliteit);
- het uitspoelen van dijkmateriaal of het opdrukken van de kleibekleding op het binnentalud door een hoge grondwaterstand in de dijk (micro-instabiliteit);
- aantasting van de bekleding op het buitentalud onder hydraulische belasting (instabiliteit van de bekleding);
- grootschalige deformatie van het voorland (afschuiving of zettingsvloeiing);
- het optreden van één van de genoemde faalmechanismen ten gevolge van de aanwezigheid van een niet-waterkerend object.

Te grote deformatie van de waterkering door instabiliteit leidt tot kruinverlaging en mogelijk tot doorbraak.

Figuur 5 - 1.1

Faalmechanismen dijken en dammen



Hieronder volgt een korte beschrijving van de belangrijkste faalmechanismen.

Overloop en overslag

De hoogte van de kruin moet in de eerste plaats voldoende zijn om het faalmechanisme overloop te voorkomen; dit mechanisme doet zich voor in de situatie dat Toetspeil + toeslagen hoger is dan de kruinhoogte. In de tweede plaats is het faalmechanisme overslag van belang; daarbij faalt de waterkering doordat de golven een te groot debiet over de kruin veroorzaken. Bij ontwerpen en toetsen zal vrijwel steeds de eis van beperking van het overslagdebiet maatgevend zijn. Dit overslagdebiet kan op twee manieren leiden tot falen van de waterkering: ten eerste door falen van de bekleding op de kruin en het binnentalud en ten tweede doordat de situatie bij hoogwater onbeheersbaar wordt.

Instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag

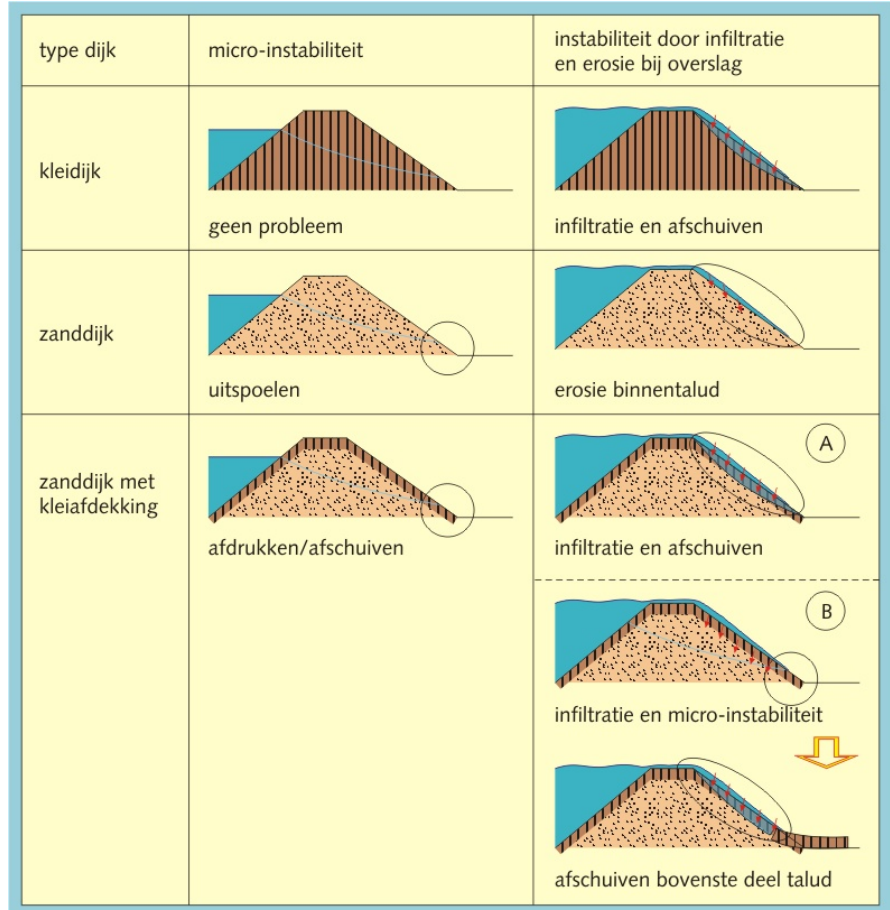
Bij overslag zal water infiltreren in de toplaag op het binnentalud van de dijk. Hierdoor zal een verzadigde infiltratiezone ontstaan waarin de korrelspanningen laag zijn en daarmee ook de weerstand tegen afschuiven; tegelijkertijd zijn het volumegewicht en daarmee de aandrijvende kracht hoog. Beide effecten hebben een negatieve invloed op de stabiliteit van de toplaag. Instabiliteit zal zich het eerst manifesteren in de vorm van vervormingen en het optreden van scheuren evenwijdig aan de kruin van de dijk.

Overslagwater kan leiden tot erosie van het binnentalud van de dijk. Scheurvorming als gevolg van infiltratie zal het erosieproces bevorderen. De mechanismen infiltratie en erosie worden vaak integraal bekeken. Toetsing van de mechanismen instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag wordt in Katern 8 'Bekledingen' behandeld. In de rechterkolom van Figuur 5 - 1.2 zijn de verschillende vormen van instabiliteit bij overslag weergegeven.

Piping

Stabiliteitsverlies door piping kan ontstaan wanneer teveel gronddeeltjes uit de onderliggende grondlagen worden meegevoerd door een kwelstroom bij (langdurige) hoge waterstanden. Verschillende fasen bij het ontstaan van piping zijn toegelicht in het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11]. Het optreden van deze interne erosie is aan de binnenzijde van de dijk zichtbaar doordat in sloten of op het maaiveld met het opwellende kwelwater zand wordt meegevoerd.

Figuur 5 - 1.2
Micro-instabiliteit en instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag



Heave

Onder heave wordt het ontstaan van drijfzand bij verticaal uittredend grondwater verstaan. Heave kan optreden in situaties waarbij een geconcentreerde verticale kwelstroming optreedt, bijvoorbeeld achter een kwelscherm aan de binnenzijde van de waterkering.

Macro-instabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts

Met macro-instabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld. Dit afschuiven treedt op langs rechte of gebogen glijvlakken of door plastische zones, waarin door overbelasting geen krachterevenwicht meer aanwezig is. De sterkte-eigenschappen en de waterspanningen in en onder de grondconstructie bepalen de weerstand tegen afschuiven. Er kan sprake zijn van macro-instabiliteit buitenwaarts en macro-instabiliteit binnenwaarts.

Een hoge buitenwaterstand leidt tot een verhoging van het freatisch vlak in het grondlichaam en een verhoging van waterspanningen in de ondergrond, waardoor de weerstand tegen afschuiven reduceert. Een bijzondere situatie kan optreden wanneer een watervoerende zandlaag in de ondergrond wordt afgedekt met een slecht doorlatend klei- en veenpakket. Bij hoge buitenwaterstanden zal de waterspanning in de zandlaag relatief snel oplopen waardoor aan binnendijkse zijde het bovenliggende slecht doorlatende klei- en veenpakket door opwaartse waterdruk omhoog wordt gedrukt. Dit fenomeen wordt wel aangeduid met opdrijven en heeft een ongunstig effect op de macrostabiliteit.

Een bijzonder faalmechanisme is horizontale afschuiving. Hiervoor worden in dit Voorschrift geen aparte toetsingsregels gegeven. Op basis van de huidige kennis mag worden verondersteld dat dit faalmechanisme niet maatgevend is voor de Nederlandse dijken en dammen van het primaire waterkeringensysteem in hun huidige opbouw.

Micro-instabiliteit

Micro-instabiliteit betreft het verlies van stabiliteit van grondlagen met zeer beperkte dikte aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van door een grondlichaam stromend grondwater. Bij micro-instabiliteit komt de bedreiging van binnen: eventuele problemen worden veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het grondlichaam. Bij micro-instabiliteit door stromend grondwater kan worden gedacht aan het uitspoelen van materiaal uit de kern van de dijk. Ook kan bij micro-instabiliteit worden gedacht aan instabiliteit van de toplaag door een hoge freatische lijn in de dijk. Als het binnentalud wordt beschermd door een ondoorlatende kleilaag kan deze door het grote potentiaalverschil over de toplaag worden afgedrukt van de dijk. In Figuur 5 - 1.2 zijn de genoemde verschijnselen weergegeven.

Micro-instabiliteit wordt wel eens verward met of gelijk gesteld met instabiliteit door infiltratie en erosie door overslag. Ook dat proces speelt zich immers op het binnentalud af. Het verschil tussen beide is dat bij micro-instabiliteit water door de dijk is gestroomd en van binnen naar buiten sijpelt, terwijl bij infiltratie na overslag het water van buiten naar binnen infiltreert. Naast infiltratie zal een deel van het overslagwater via het binnentalud afstromen. Hierdoor kan erosie van het al dan niet verzadigde binnentalud optreden. In Figuur 5 - 1.2 zijn de mechanismen van micro-instabiliteit en instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag weergegeven.

Instabiliteit van de bekleding

De bekleding van het buitentalud, berm, kruin en binnentalud biedt bescherming tegen erosie van het dijklichaam. De bekleding kan bezwijken door golfaanval, door langsstroming of in bijzondere gevallen door statische wateroverdruk, waarna de golven direct de kern van de dijk kunnen aanvallen.

Instabiliteit van het voorland (afschuiving en zettingsvloeiing)

Indien een vooroever is opgebouwd uit slappe klei- en veenlagen of verwekingsgevoelig zand, dient rekening te worden gehouden met grootschalige afschuivingen en zettingsvloeiing van de vooroever met mogelijke invloed op de veiligheid van de waterkering. Bij zettingsvloeiing ondergaat een massa verzadigd zand grote verplaatsingen als gevolg van verweking. De verweking wordt veroorzaakt doordat zandlagen met een losse pakking belast worden door schuifspanningen en daardoor gedwongen worden tot volumeverkleining (contractantie). Door deze neiging tot volumeverkleining ontstaan wateroverspanningen en neemt de schuifsterkte van de grond af.

Instabiliteit door niet-waterkerende objecten

Het falen of de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten zoals bomen, bebouwing of pijpleidingen heeft een ongunstige invloed op het waterkerend vermogen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan ontwortelde bomen, exploderende gasleidingen of gebouwen die door eigengewicht of een diepe kelder een ongunstige invloed hebben op de weerstand tegen afschuiven.

Op basis van de faalmechanismen in Figuur 5 - 1.1 worden dijken en dammen getoetst volgens drie beoordelingssporen: Hoogte HT, Stabiliteit ST en invloed van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen NWO. Binnen het hoofdspoor Stabiliteit worden verschillende deelsporen onderscheiden. In Tabel 5 - 1.1 zijn de faalmechanismen gegroepeerd naar beoordelingssporen en is een verwijzing opgenomen naar katern en paragraaf waarin het deelspoor wordt behandeld.

Tabel 5 - 1.1
Samenhang faalmechanismen en
beoordelingssporen

Faalmechanisme	Deelspoor beoordeling	Katern - §
Overloop en overslag	Hoogte (HT)	Katern 5 - 4.1
Instabiliteit door infiltratie en erosie bij overslag	Bekledingen (STBK)	Katern 8
Piping	Piping en heave (STPH)	Katern 5 - 4.2.2
Heave	Piping en heave (STPH)	Katern 5 - 4.2.2
Macro-instabiliteit binnenwaarts	Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	Katern 5 - 4.2.3
Macro-instabiliteit buitenwaarts	Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	Katern 5 - 4.2.4
Micro-instabiliteit	Microstabiliteit (STMI)	Katern 5 - 4.2.5
Instabiliteit van bekleding buitentalud	Bekledingen (STBK)	Katern 8
Instabiliteit van het voorland (afschuiving en zettingsvloeiing)	Voorland (STVL)	Katern 9
Invloed van niet-waterkerende objecten	Niet-waterkerende objecten (NWO)	Katern 10

In Tabel 5 - 1.1 is aangegeven dat enkele hoofd- en deelsporen in een apart Katern worden behandeld: het deelspoor Bekledingen STBK is ondergebracht in Katern 8 (behandeling per bekledingstype); de beoordeling van de stabiliteit van het voorland op de mechanismen afschuiving en zettingsvloeiing STVL is ondergebracht in Katern 9 (van toepassing op meerdere types waterkeringen); het hoofdspoor Niet-waterkerende objecten NWO is ondergebracht in Katern 10 (behandeling per type object). In dit Katern 5 worden het hoofdspoor Niet-waterkerende objecten en de deelsporen Bekledingen en Voorland alleen behandeld voor zover het hun relatie met de andere beoordelingssporen betreft.

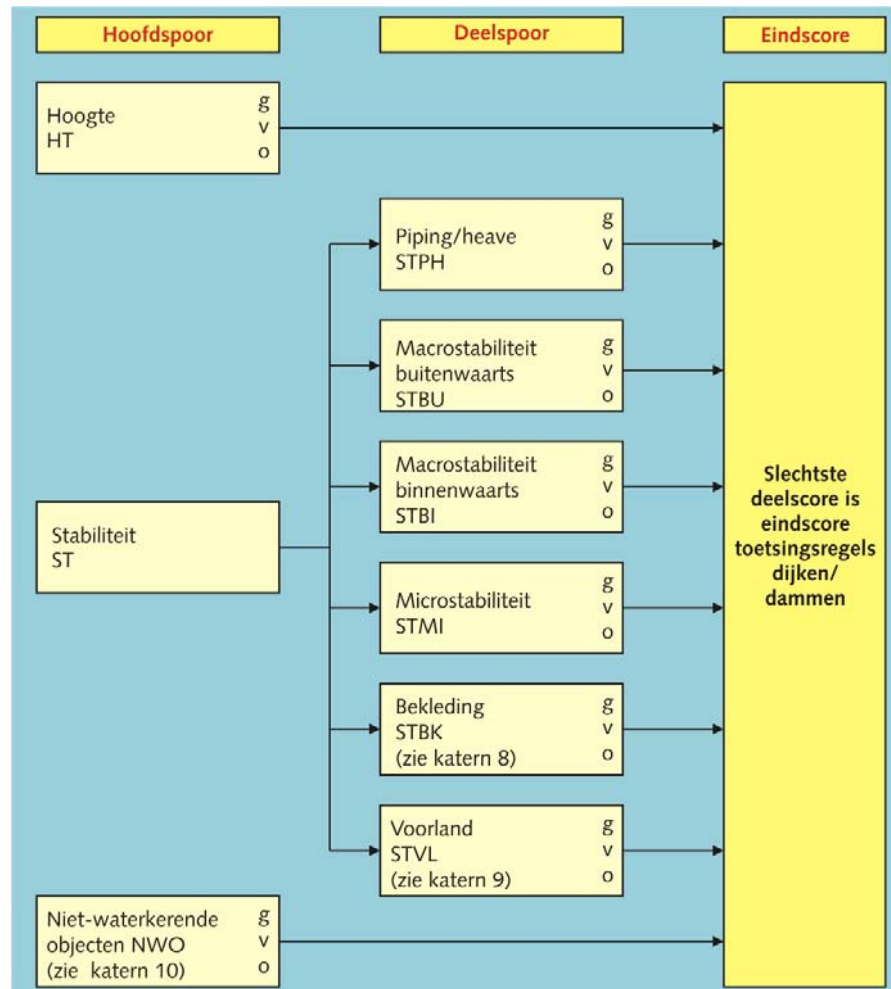
De beoordelingswijze per sectie is beschreven in § 2.1 van Katern 2 (zie Figuur 2 - 2.2), inclusief de plaats van het beheerdersoordeel hierin en het mogelijk gebruik van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006.

Voordat begonnen wordt met de beoordeling volgens de toetsingsregels in dit hoofdstuk kan worden nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie § 2.1.2 van Katern 2).

Het beheerdersoordeel wordt behandeld in hoofdstuk 6 van Katern 2.

Het algemene hoofdschema voor de beoordeling per sectie, inclusief het opstellen van het beheerdersoordeel, is gegeven in Figuur 2 - 2.2 in § 2.1.1 van Katern 2. Figuur 5 - 1.3 is het hoofdschema voor de beoordeling van dijken en dammen. Hoofdschema's geven een overzicht van alle beoordelingssporen die moeten worden doorlopen en de manier waarop de eindscore wordt bepaald. Voor het type dijken en dammen geldt dat in principe in alle gevallen op alle beoordelingssporen uit het hoofdschema moet worden getoetst en dat de slechtste score bepalend is voor de eindscore van de dijken en dammen. Vanzelfsprekend worden de sporen Niet-waterkerende objecten en Bekledingen in de toetsing alleen doorlopen voor zover hiervan sprake is.

Figuur 5 - 1.3
Hoofdschema voor de beoordeling van dijken en dammen



De toetsing van havendammen en van de aansluiting met hoge gronden wordt afzonderlijk behandeld in hoofdstuk 5 en 6 van dit katern.

1.3 Leeswijzer

In het vervolg van dit katern worden belastingen, sterkte en beoordeling van dijken/dammen per beoordelingsspoor behandeld. In hoofdstuk 5 wordt de toetsing van havendammen behandeld. Tenslotte gaat het in hoofdstuk 6 over de toetsing van hoge gronden.

2 Belastingen

De in rekening te brengen belastingen zijn opgenomen in [45]. In dit hoofdstuk wordt per beoordelingsspoor beknopt aangegeven welke belastingkenmerken van belang zijn.

2.1 Hoogte HT

Ten aanzien van het faalmechanisme overloop en overslag worden dijken en dammen belast door de maatgevende combinatie van waterstand en golfoploop. Voor de waterstand is het Toetspeil van belang vermeerderd met lokale toeslagen (zie § 2.2 van Katern 4 en [45]). De golfoploop wordt bepaald door de golfhogte en de golfperiode en door de vorm en het oppervlak van het buitentalud.

2.2 Stabiliteit ST

In Tabel 5 - 2.1 is per beoordelingsspoor aangegeven welke belastingen voor de toetsing op stabiliteit relevant zijn. Voor de sporen Bekledingen, Voorland en Niet-waterkerende objecten wordt verwezen naar de betreffende katernen. De in rekening te brengen belastingen worden toegelicht in [45] en in de voetnoten bij de navolgende tabel.

Tabel 5 - 2.1
Belastingen stabiliteit per beoordelingsspoor

Belasting	Beoordelingsspoor			
	STPH	STBI	STBU	STMI
Eigen gewicht waterkering	-	X	X	-
Hoge buitenwaterstand	X ¹⁾	X ²⁾	-	X ²⁾
Lage buitenwaterstand of snelle val na Toetspeil	-	-	X ³⁾	-
Stroomsnelheid grondwater (of gradiënt van grondwaterstroming)	X	-	-	X
Artesisch water	X ⁴⁾	X ⁴⁾	-	-
Ijs	-	-	-	-
Verkeer	-	X	X	-
Wind	-	-	-	-
Neerslag	-	- ⁵⁾	- ⁵⁾	- ⁵⁾

Toelichting bij de genummerde opmerkingen in Tabel 5 - 2.1:

1. in geval van een kortdurende hoge buitenwaterstand (bijvoorbeeld getij of stormopzet) is het stationair beschouwen van deze waterstand voor het toetsen op het faalmechanisme piping en heave een veilige aanname. In plaats van deze hoge buitenwaterstand kan een gereduceerde waterstand in rekening worden gebracht. Voor de in rekening te brengen reductie wordt verwezen naar § 4.5 van het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11];
2. de hoge buitenwaterstand verhoogt het freatisch vlak in de dijk en heeft zo een indirect effect op de macrostabiliteit binnenwaarts en microstabiliteit. In [45] is aangegeven welke hoogwaterstand (Toetspeil + toeslagen) en welk waterstandsverloop bij hoogwater voor het toetsen in rekening moet worden gebracht. De buitenwaterstand vormt een belangrijke randvoorwaarde bij het bepalen van het freatisch vlak. Bij een groot aantal kleidijken vertoont het freatisch vlak een opbolling bij een normale buitenwaterstand. Bij het toetsen van dergelijke dijken dient ook bij hoogwater rekening te worden gehouden met een opbolling. Voor het bepalen van het freatisch vlak in het grondlichaam wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD) [29];
3. voor de stabiliteit van het buitentalud is een ongunstige combinatie van hoog freatisch vlak in de dijk na een snelle daling van de buitenwaterstand maatgevend. Voor de dijken in het beneden- en bovenrivierengebied kan worden gesteld dat de situatie optreedt bij vallend water en een naijlend waterspanningsbeeld in de dijk. Voor het benedenrivierengebied wordt aanbevolen om uit te gaan van de situatie na een val van 1 dag. Voor het bovenrivierengebied wordt aanbevolen uit te gaan van een situatie na een val van 10 dagen. Bij zee- resp. meerdijken kan worden uitgegaan van een val naar een niveau van Gemiddeld LaagWater (GLW) resp. Streefpeil SP over een periode van een halve stormduur zoals in de Leidraad Zee- en Meerdijken [13] is aangegeven;
4. wanneer er onder de dijk watervoerende lagen aanwezig zijn die worden gevoed door buitenwater dan kan artesisch water ontstaan (wateroverdruk ten opzichte van de freatische grondwaterstand). Deze artesische condities hoeven niet enkel aan maatgevende hoogwater omstandigheden te zijn gekoppeld maar kunnen ook onder normale omstandigheden aanwezig zijn, denk hierbij aan polders waarvan het maaiveld permanent beneden de gemiddelde buitenwaterstand ligt;
5. bij toetsing wordt, in tegenstelling tot bij ontwerp, niet het belastinggeval beschouwd met extreme neerslag en bijbehorende waterstand. Wel wordt bij toetsing vanzelfsprekend het belastinggeval beschouwd van een extreme waterstand met bijbehorende neerslag.

3 Sterkte

3.1 Hoogte HT

Er zijn vier sterktekenmerken voor het beoordelingsspoor Hoogte, die in onderlinge samenhang bepalen of een dijk aan de eisen kan voldoen: de kruinhoogte, de weerstand van kruin en binnentalud tegen overslag, de eigenschappen ten aanzien van begaanbaarheid en de mogelijkheden voor afvoer en berging van overslaand water.

Het eerste kenmerk is de absolute hoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn h_{kr} . Voor de toetsing is van belang wat per sectie de laagste waarde van de kruinhoogte is tot aan de peildatum. In de praktijk is dat meestal de actuele kruinhoogte gecorrigeerd met de zetting en klink die wordt verwacht. De actuele kruinhoogte kan op verschillende manieren worden bepaald, zoals door middel van een lengtewaterpassing over de buitenkruinlijn, laseraltimetrie vanuit een helikopter of radarmetingen vanuit vliegtuigen of satellieten. De bemonsteringsafstand is afhankelijk van de aanwezige variatie; bij een redelijk uniform profiel kan worden gedacht aan een afstand in lengterichting van 20 m. Een schatting van de zetting en klink tot aan de peildatum kan bijvoorbeeld worden gemaakt door een vergelijking van de gemeten actuele kruinhoogte met metingen van enkele jaren geleden.

Het is mogelijk om in bijzondere gevallen niet uit te gaan van de buitenkruinlijn, maar van een hoger punt op de kruin. Dat is alleen toegestaan als hiermee ook rekening wordt gehouden bij de overige beoordelingssporen; voorkomen moet worden dat de score op Hoogte 'goed' is op basis van een binnenwaarts gelegen punt, terwijl de score op bijvoorbeeld Macrostabieliteit binnenwaarts 'voldoende' is op basis van de restprofielbenadering van stap 1 waarbij wordt aangenomen dat het betreffende punt afschuift (zie stap 1 van § 4.2.3 van dit katern). Verder moet in een dergelijk geval worden opgelet dat de toetsing wordt uitgevoerd langs een aaneengesloten lijn in de lengterichting van de waterkering.

Het tweede kenmerk is de weerstand tegen erosie en lokaal afschuiven van grond op de kruin en het binnentalud door overslaand water. Bij onvoldoende weerstand zal dit leiden tot kruinhoogteverlies, mogelijk gevolgd door bresvorming. De toetsing op dit kenmerk hangt af van het bekledingstype. Grofweg wordt de sterkte bepaald door de dikte en de kwaliteit van de diverse lagen van de bekleding, en de maximale helling van het binnentalud.

Het derde kenmerk wordt gevormd door de eigenschappen van de dijk ten aanzien van begaanbaarheid/bereikbaarheid/berijdbaarheid van de kruin en eventuele bermen op het binnentalud. Hieraan kunnen eisen worden gesteld in verband met mogelijk noodzakelijk ingrijpen onder extreme omstandigheden. De sterktekenmerken zijn sterk locatiebepaald; gedacht kan worden aan de aanwezigheid van verharding op de kruin. De toetsing op dit punt heeft overigens een sterk kwalitatief karakter.

Het vierde kenmerk betreft de mogelijkheden om overslaand water te bergen of te voeren. Dit kenmerk speelt slechts mee in de beoordeling voor zover de veiligheid in het geding is.

3.2 Stabiliteit ST

3.2.1 Algemeen

De stabiliteit (ST) wordt gekarakteriseerd door:

- de weerstand tegen het optreden van Piping of heave (spoor STPH), zie § 3.2.2;
- de weerstand van het dijklichaam tegen afschuiven (macrostabiliteit), zowel buitenwaarts (spoor STBU) als binnenwaarts (spoor STBI), zie § 3.2.3;
- de weerstand van het dijklichaam tegen uitspoelen van grond of afdrukken van de topklaag van het binnentalud ten gevolge van een hoge waterdruk in de dijk (microstabiliteit, spoor STMI), zie § 3.2.4.

Daarnaast wordt de stabiliteit beïnvloed door:

- het gedrag van de bekleding bij golfoploop (buitentalud) en golfoverslag (kruin en binnentalud), zie § 3.2.5;
- de weerstand tegen afschuiven of zettingsvloeiing van de vooroever, zie § 3.2.6;
- het gedrag van de niet-waterkerende objecten op of in de dijk, zie § 3.3.

3.2.2 Piping en heave STPH

De weerstand tegen piping wordt bepaald door:

- de kwelweglengte, ofwel de afstand tussen het intreepunt op het voorland en het uittreepunt op het achterland;
- de korrelverdeling van materiaal dat wordt belast door interne erosie, vooral ter plaatse van het uittreepunt. Hierbij geldt dat fijner materiaal een lagere weerstand tegen interne erosie heeft;
- de dikte en de doorlatendheid van het watervoerende pakket onder en in het dijklichaam;
- de dikte en het gewicht van een afdekkend pakket;
- de aanwezigheid en afmetingen van een mogelijke kwelsloot.

De weerstand tegen heave wordt bepaald door:

- de kwelweglengte (vooral verticaal);
- de korrelverdeling van materiaal dat wordt belast door interne erosie, vooral ter plaatse van het uittreepunt. Hierbij geldt dat fijner materiaal een lagere weerstand tegen interne erosie heeft;
- de afstroming of drainage van kwelwater;
- de dikte en het gewicht van een afdekkend pakket.

3.2.3 Macrostabiliteit binnenwaarts STBI en buitenwaarts STBU

Afschuiving vindt meestal plaats langs een cirkelvorming glijvlak waarbij het momentenevenwicht wordt beschouwd. Sterkte bij macrostabiliteit kan worden gezien als alle eigenschappen die het weerstandbiedend moment ten goede komen. Voor het mechanisme macrostabiliteit is het moeilijk sterkte en geometrische kenmerken geheel van elkaar te scheiden. Vaak wordt het weerstandbiedend moment als sterkte gezien en het aandrijvend moment als belasting. Het weerstandbiedend moment wordt gevormd door de maximaal te mobiliseren schuifspanning langs een potentieel glijvlak. Deze schuifspanning is gerelateerd aan de korrelspanning. De korrelspanning is afhankelijk van het volumegewicht van de grond, de waterspanning en de belastingsgeschiedenis (bijvoorbeeld overconsolidatie).

3.2.4 Microstabiliteit STMI

Bij de weerstand ten aanzien van microstabiliteit kan onderscheid worden gemaakt in:

- de weerstand tegen opbarsten van de kleibekleding waarbij het gewicht (en eventueel de schuifsterkte) van de bekleding als sterkte kan worden gezien;
- de weerstand tegen uitspoelen waarbij moet worden gedacht aan eigenschappen die de waterdoorlatendheid en de schuifweerstand van de grond bepalen. Hierbij kan worden gedacht aan de korrelverdeling en de hoek van inwendige wrijving.

3.2.5 Stabiliteit van de bekleding STBK

Onder bekleding wordt verstaan het gehele pakket dat de kern van de dijk bedekt. Een bekleding kan verschillende functies vervullen, maar voor de toetsing op veiligheid is alleen het volgende van belang: bescherming van het onder/achterliggende grondlichaam en reductie van de golfoploop. De reductie van de golfoploop is onderdeel van het beoordelingsspoor Hoogte (zie § 3.1). De bescherming tegen erosie wordt behandeld in Katern 8. De bekleding moet er voor zorgen dat de aantasting van het dwarsprofiel tijdens maatgevende omstandigheden zodanig binnen de perken blijft, dat er geen gevaar voor bresvorming optreedt.

De bijdrage van de bekleding aan de waterdichtheid van de totale kering wordt niet getoetst. Overigens kan de doorlatendheid van de bekleding wel van belang zijn voor de stabiliteit van de bekleding zelf, de ligging van de freatische lijn in het grondlichaam en/of de stabiliteit van het binnentalud bij overslaand of uittredend water. De stabiliteit bij overslag is afhankelijk van de kwaliteit van de bekleding op de kruin en het binnentalud en de helling van het binnentalud (zie Katern 8).

3.2.6 Stabiliteit voorland STVL

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de mechanismen afschuiving en zettingsvloeiing. Voor afschuiving gelden gelijke sterktekenmerken als bij Macrostabiliteit buitenwaarts STBU. Bij de weerstand tegen zettingsvloeiing moet worden gedacht aan materiaaleigenschappen zoals: pakkingsdichtheid (relatieve dichtheid), dikte en diepte van het pakket met lage pakkingsdichtheid, korrelspanning, korrelverdeling en korrelvorm; eigenschappen van vooroever en geul zoals: breedte voorland, taludhelling van geul en het al dan niet het aanwezig zijn van een vooroeverbestorting. De mechanismen afschuiving voorland en zettingsvloeiing worden in Katern 9 behandeld.

3.3 Niet-waterkerende objecten NWO

De invloed van niet-waterkerende objecten op of in de dijk op het waterkerend vermogen worden behandeld in Katern 10. Voor de toetsing op veiligheid van dijken en dammen is in eerste instantie niet de sterkte van de objecten zelf van belang, maar de invloed van de objecten op de faalmechanismen, die betrekking op de waterkering. Overigens kan de sterkte van de objecten daarin wel een rol spelen.

4 Beoordeling

De beoordelingswijze per sectie is beschreven in § 2.1 van Katern 2 (zie Figuur 2 - 2.2), inclusief de plaats van het beheedersoordeel hierin en het mogelijk gebruik van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006.

Voordat begonnen wordt met de beoordeling volgens de toetsingsregels in dit hoofdstuk kan worden nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie § 2.1.2 van Katern 2).

Het beheedersoordeel wordt behandeld in hoofdstuk 6 van Katern 2.

In dit hoofdstuk wordt gebruik gemaakt van ‘Toetspeil + toeslagen’ om de bij Toetspeil behorende maatgevende waterstand aan te geven. De in rekening te brengen toeslagen zijn aangegeven in Tabel 4 - 2.1 in § 2.2.1 van Katern 2 per type waterkering, per watersysteem en per toetsspoor (faalmechanisme).

4.1 Hoogte HT

M
m

In deze paragraaf is de toets op Hoogte HT van dijken en dammen uitgewerkt (§ 4.1.1). Vanwege het specifieke karakter van de Maaskaden en de eisen die hieraan gesteld worden voor wat betreft de hoogte wordt de beoordeling van de hoogte van Maaskaden apart behandeld in § 4.1.2.

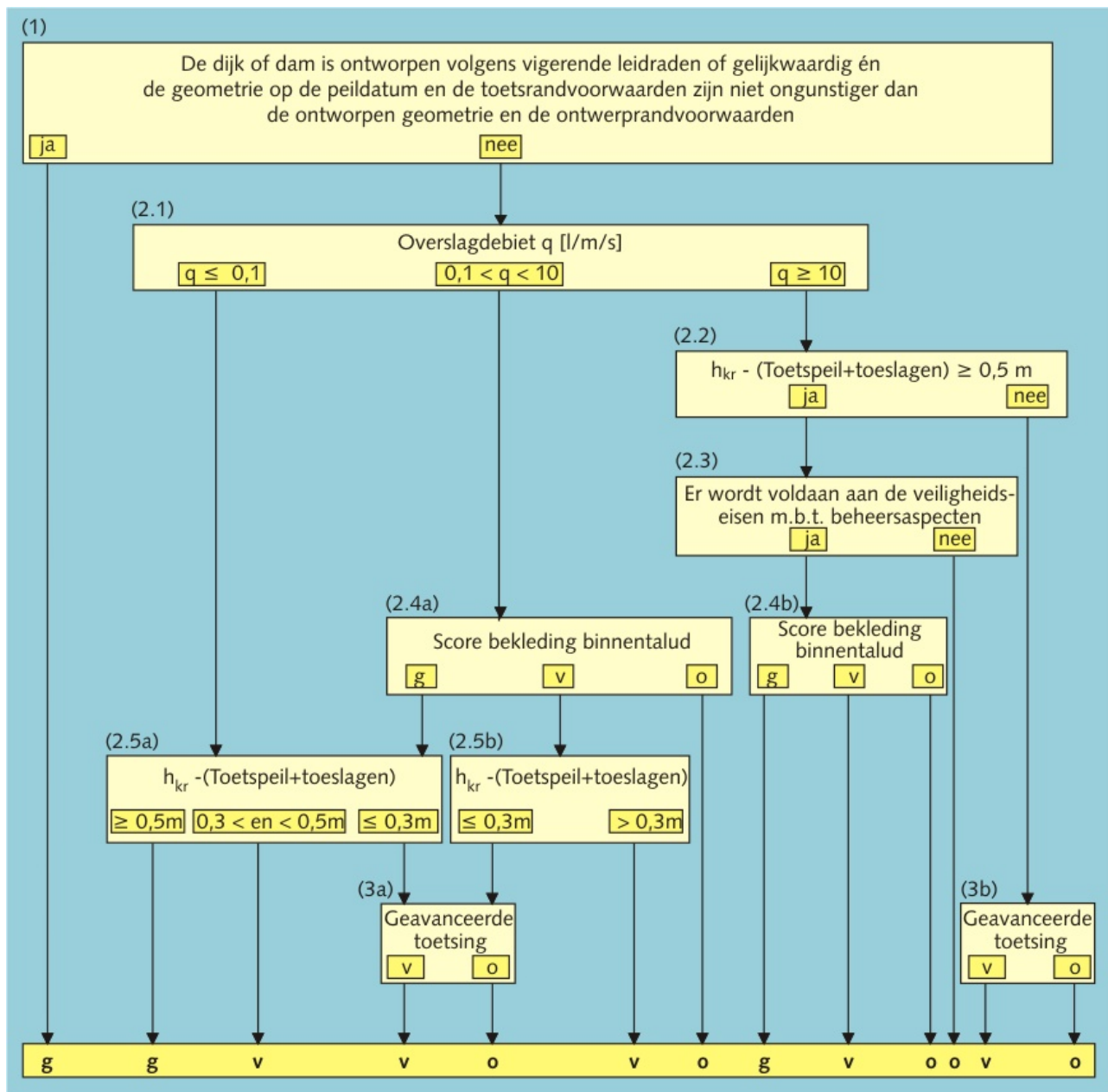
4.1.1 Algemeen

Voor de veiligheid van dijken en dammen tegen de faalmechanismen overloop en overslag zijn voornamelijk twee parameters van belang: de kruinhoogtemarge en het overslagdebiet. De kruinhoogtemarge is gedefinieerd als het verschil tussen de kruinhoogte en de Toetspeil + toeslagen (zie § 2.1). De kruinhoogte in deze definitie is de absolute hoogte, in principe ter plaatse van de buitenkruinlijn, en in de toetsing wordt de laagste verwachte waarde tot aan de peildatum gebruikt (zie § 3.1).

De beoordeling van de kruinhoogte volgt het schema in Figuur 5 - 4.1. In stap 1 kan een eindscore ‘goed’ worden gegeven op basis van de gehanteerde ontwerpmethod, zonder rekenwerk. Als niet aan de voorwaarden wordt voldaan, wordt in stap 2 een toetsing uitgevoerd met de vigerende ontwerpregels, waarbij wordt gekeken naar het overslagdebiet en naar de kruinhoogtemarge. Een score ‘goed’ wordt alleen gegeven als het overslagdebiet de veiligheid niet in gevaar brengt én de kruinhoogtemarge groter is dan 0,5 m. Een score ‘voldoende’ kan in verschillende gevallen worden gegeven: als dat de score is van het binnentalud onder het berekende overslagdebiet (stap 2.4), of als het overslagdebiet weliswaar acceptabel is, maar de kruinhoogtemarge is kleiner dan 0,5 m (stap 2.5). In een aantal gevallen is geavanceerde toetsing nodig, als de kruinhoogtemarge kleiner is dan een bepaalde grens (stap 3). Een score ‘onvoldoende’ wordt gegeven als het overslagdebiet de veiligheid in gevaar brengt (stap 2.3 en 2.4), of als dat uit geavanceerde toetsing volgt (stap 3).

Figuur 5 - 4.1

Beoordelingsschema Hoogte HT voor dijken en dammen



De beoordeling wordt per stap beschreven.

Stap 1: Gehanteerde ontwerpmethodode

Een toetsresultaat op basis van de gehanteerde ontwerpregels mag alleen worden gegeven als is aangetoond dat de gebruikte ontwerpwaarden voor de geometrie en de randvoorwaarden niet ongunstiger zijn dan de huidige toetswaarden. Voor de toetsing op Hoogte HT betekent dat het volgende:

- Toetspeil + toeslagen, golfhoogte en golfperiode mogen niet hoger zijn dan de bij het ontwerp gehanteerde waarden voor Ontwerppeil plus toeslagen, golfhoogte en golfperiode en;
- de kruinhoogte inclusief zettingen mag niet lager zijn dan de ontwerpwaarde en;

- de taludhelling mag niet steiler zijn dan de ontwerpwaarde en;
- het toelaatbare overslagdebiet uit het oogpunt van de bekleding van het binnentalud en beheeraspecten mag niet kleiner zijn dan de ontwerpwaarde.

Dit betekent dat in stap 1 in ieder geval de actuele kruinhoogte moet worden bepaald en dat een actuele inschatting van de zettingen moet worden gemaakt (zie § 3.1). Als de geometrie óf de randvoorwaarden in ongunstige zin zijn veranderd, moet de toetsing in alle gevallen worden voortgezet met stap 2.

De score is 'goed' als het ontwerp is gemaakt met de vigerende leidraden en voldaan wordt aan bovengenoemde criteria:

- voor dammen en zee- en meerdijken: de Leidraad Zee -en Meerdijken (LZM) [13];
- voor rivierdijken: de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 (LOR1) [2] en deel 2 (LOR2) [4] en het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG) [16];
- ten aanzien van de rekenregels wordt verwezen naar het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TRGG) [20].

De verwijzing in deze stap 1 naar de LZM betreft alleen de ontwerpregels voor de kruinhoogte en niet de toetsingsregel die daar wordt gegeven.

Stap 2: Rekenregels uit de vigerende leidraden

Voor de kruinhoogte geldt de ontwerpregel (zie [16], [7] en [13] tot en met [20]) dat in maatgevende omstandigheden ten eerste de marge tussen kruinhoogte en Toetspeil + toeslagen groter dan of gelijk aan 0,5 m moet zijn en dat ten tweede het overslagdebiet q klein genoeg moet zijn. Het overslagdebiet moet zo klein zijn dat de bekleding van de kruin en het binnentalud niet faalt en dat de overlast tijdens hoogwater acceptabel is. Voor de toetsing geldt, dat een score 'goed' kan worden gegeven als aan deze voorwaarden wordt voldaan. Als dat niet zo is, kan in bepaalde gevallen toch nog een score 'voldoende' worden gegeven.

Stap 2.1: Overslagdebiet q

Het overslagdebiet q dat hoort bij de kruinhoogte h_{kr} en de taludhelling α wordt berekend met behulp van de HYDRA-rekenmodellen (zie [45]).

Bij complexe geometrie van het talud moeten eerst de randvoorwaarden (Toetspeil, toeslagen en golfrandvoorwaarden) bepaald worden met de HYDRA-rekenmodellen op basis waarvan vervolgens het overslagdebiet met het rekenmodel PC-OVERSLAG berekend kan worden. De HYDRA-rekenmodellen en het rekenmodel PC-OVERSLAG gebruiken beide de formuleringen uit het Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [20], maar het rekenmodel PC-OVERSLAG heeft de mogelijkheid om een gecompliceerdere geometrie (dan de HYDRA-rekenmodellen) toe te passen.

Het vervolg van de toetsing wordt bepaald door de berekende waarde van het overslagdebiet (q); er worden drie gevallen onderscheiden:

- $q \leq 0,1$ l/m/s: het overslagdebiet is verwaarloosbaar. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.5;
- $0,1$ l/m/s $< q < 10$ l/m/s: de beheersmatige gevolgen zijn zeker acceptabel, dus daarop hoeft niet te worden getoetst. Er moet wel worden getoetst op erosie van de kruin en het binnentalud. De toetsing wordt voortgezet met stap 2.4a;
- $q \geq 10$ l/m/s: het overslagdebiet is zeer groot. Het vervolg hangt af van de kruinhoogtemarge, de toetsing wordt voortgezet met stap 2.2.

Stap 2.2: Marge tussen kruinhoogte en waterstand bij groot overslagdebiet

Berekend moet worden of de marge tussen kruinhoogte en waterstand groter dan of gelijk aan 0,5 m is. Bij de bepaling van kruinhoogte h_{kr} moet rekening worden gehouden met zetting en klink, zie § 3.1. De maatgevende waterstand voor dit criterium is het actuele Toetspeil + toeslagen, zie § 2.1.

Deze stap wordt alleen doorlopen als $q \geq 10$ l/m/s. Bij een overslagdebiet groter dan of gelijk aan 10 l/m/s en een marge tussen kruinhoogte en waterstand kleiner dan 0,5 m mag alleen een score 'voldoende' worden toegekend na geavanceerde toetsing; in dat geval wordt de toetsing daarom voortgezet met stap 3b. In die situatie is namelijk sprake van een overgangssituatie tussen de faalmechanismen overslag en overloop. Het mechanisme overloop is veel gevaarlijker voor de veiligheid dan het mechanisme overslag en het overloopdebiet is zeer gevoelig voor onnauwkeurigheden in de maatgevende waterstand. Als de marge tussen kruinhoogte en waterstand wél groter dan of gelijk is aan 0,5 m, is er zoveel ruimte dat alleen van het mechanisme overslag hoeft te worden uitgegaan. In dat geval wordt de toetsing voortgezet met stap 2.3.

Stap 2.3: Beheersmatige gevolgen van overslag

Bij grote overslagdebieten (10 l/m/s en hoger) moet niet alleen op de standzekerheid van de waterkering worden getoetst (stap 2.4b), maar ook op de gevolgen ten aanzien van toegankelijkheid en wateroverlast.

Bij een overslagdebiet van 10 l/m/s of hoger is de kruin bij maatgevende omstandigheden niet begaanbaar voor inspectie of reparatiewerkzaamheden. Bij de veiligheidsbeoordeling zal de beheerder moeten aantonen dat het geen gevaar voor de veiligheid oplevert. Als de onbegaanbaarheid van de kruin de veiligheid wel in gevaar brengt, is de eindscore 'onvoldoende'.

Wanneer het voor de veiligheid niet noodzakelijk is dat de kruin bij maatgevende omstandigheden begaanbaar is, wordt het toelaatbare overslagdebiet bepaald door het toelaatbare waterbezwaar in het achtergelegen gebied:

- alleen als de berging of afvoermogelijkheden zodanig beperkt zijn dat de overslag de veiligheid in gevaar kan brengen, is de score 'onvoldoende';
- als de overslag uit het oogpunt van berging en afvoer weliswaar onacceptabele overlast veroorzaakt, maar de veiligheid niet bedreigt, wordt de toetsing voortgezet met stap 2.4b, met als de hoogst haalbare score 'voldoende';
- als de overslag uit het oogpunt van berging en afvoer geen of acceptabele overlast veroorzaakt, wordt de toetsing voortgezet met stap 2.4b, met als de hoogst haalbare score 'goed'.

Overigens kunnen de stappen 2.3 en 2.4b in het geval $q \geq 10$ l/m/s in willekeurige volgorde worden doorlopen: de slechtste score van beide stappen is bepalend voor het vervolg van de toetsing.

Stap 2.4: Stabiliteit van de bekleding van de kruin en het binnentalud

De toetsing van bekledingen wordt behandeld in Katern 8. Per bekledingstype wordt daarin apart aandacht besteed aan de toetsing van het binnentalud. In de betreffende hoofdschema's is aangegeven hoe met bekledingen op het binnentalud moet worden omgegaan:

- **steenettingen** (zie Figuur 8 - 2.1)
- **asfalt** (zie Figuur 8 - 3.1)
- **gras** (zie Figuur 8 - 4.2)

Voor toetsing van andere bekledingstypes is specialistische hulp nodig.

Stap 2.4 kan op twee manieren worden bereikt: vanuit stap 2.1, als q ligt tussen 0,1 en 10 l/m/s (geval 2.4a) en vanuit stap 2.3 (geval 2.4b). De inhoud van stap 2.4 is in beide gevallen exact hetzelfde, maar de twee gevallen worden onderscheiden omdat het vervolg van de toetsing verschilt. Bij een score 'onvoldoende' in deze stap is dat in beide gevallen tevens de eindscore. Bij een score 'goed' of 'voldoende' moet in geval 2.4a de kruinhoogtemarge nog worden gecontroleerd (stap 2.5); in geval 2.4b is deze controle al in stap 2.2 uitgevoerd, zodat een score 'goed' en 'voldoende' ook de eindscore is.

Stap 2.5: Marge tussen kruinhoogte en waterstand bij klein overslagdebiet

Berekend moet worden hoe groot de marge is tussen kruinhoogte en waterstand. Bij de bepaling van kruinhoogte h_k moet rekening worden gehouden met zetting en klink, zie § 3.1. De maatgevende waterstand voor dit criterium is het actuele Toetspeil + toeslagen, zie § 2.1.

Deze stap wordt alleen doorlopen als $q < 10$ l/m/s. De stap kan op twee manieren worden bereikt: vanuit stap 2.1, als q kleiner is dan 0,1 l/m/s (geval 2.5a) en vanuit stap 2.4a (geval 2.5b). De inhoud van stap 2.5 is in beide gevallen exact hetzelfde, maar de twee gevallen worden onderscheiden omdat het vervolg van de toetsing verschilt. Alleen voor geval 2.5a is van belang, dat een eindscore 'goed' kan worden toegekend als de marge tussen kruinhoogte en waterstand groter of gelijk aan 0,5 m is. Als de marge tussen 0,3 m en 0,5 m ligt, is de eindscore in beide gevallen 'voldoende'. Bij een marge kleiner dan 0,3 m is er mogelijk sprake van een overgangssituatie tussen de faalmechanismen overslag en overloop. Zoals al opgemerkt bij stap 2.2: het mechanisme overloop is veel gevaarlijker voor de veiligheid dan het mechanisme overslag en het overloopdebiet is zeer gevoelig voor onnauwkeurigheden in de maatgevende waterstand. In die situatie is daarom zowel in geval 2.5a als 2.5b geavanceerde toetsing nodig om aan te tonen dat de veiligheid niet in gevaar wordt gebracht door de kans op overloop (stap 3a).

Stap 3: Geavanceerde toetsing Hoogte

Als er sprake is van een overgangssituatie tussen de faalmechanismen overslag en overloop, is geavanceerde toetsing nodig. Hiervoor is de inzet van specialisten nodig. Daarbij kan onder meer worden beschouwd in hoeverre de onzekerheden in de maatgevende waterstand worden afgedekt door de marge tussen kruinhoogte en maatgevende Toetspeil + toeslagen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de gevallen 3a en 3b. In geval 3a is het overslagdebiet q kleiner dan 10 l/m/s en de kruinhoogtemarge kleiner dan 0,3 m. In geval 3b is het overslagdebiet groter dan of gelijk aan 10 l/m/s en de kruinhoogtemarge kleiner dan 0,5 m. Het karakter van de toetsing is in beide gevallen hetzelfde.

M

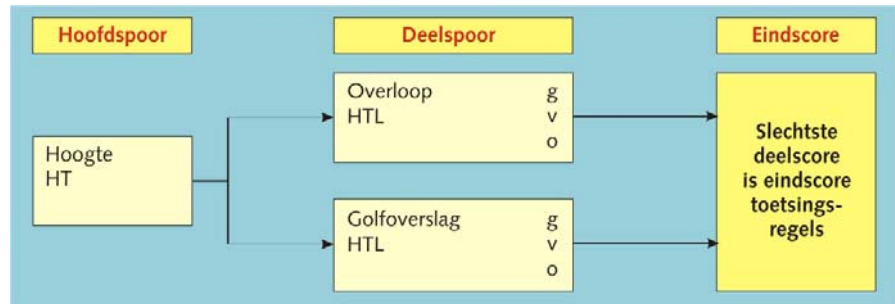
4.1.2 Beoordeling van de hoogte van Maaskaden

In § 4.1.1 wordt de toetsing op Hoogte HT voor dijken en dammen beschreven in één beoordelingsspoor (zie Figuur 5 - 1.3) met één toetsschema (zie Figuur 5 - 4.1). Feitelijk wordt daarin getoetst op twee faalmechanismen, namelijk overloop en golfoverslag.

De Maaskaden worden apart beoordeeld op deze twee faalmechanismen, vanwege de specifieke eisen die gesteld worden aan de hoogte. Er zijn twee aparte deelsporen uitgewerkt: Overloop HTL en Golfoverslag HTG, en die bepalen samen het toetsresultaat op het spoor Hoogte HT. Deze aanpassing verheldert en vergemakkelijkt de interpretatie van de toetsresultaten.

Figuur 5 - 4.2 is het hoofdschema voor de beoordeling van de Hoogte HT van Maaskaden. In dit schema is aangegeven dat beide deelsporen Overloop HTL en Golfoverslag HTG moeten worden doorlopen en dat de slechtste deelscore bepalend is voor de eindscore op Hoogte HT.

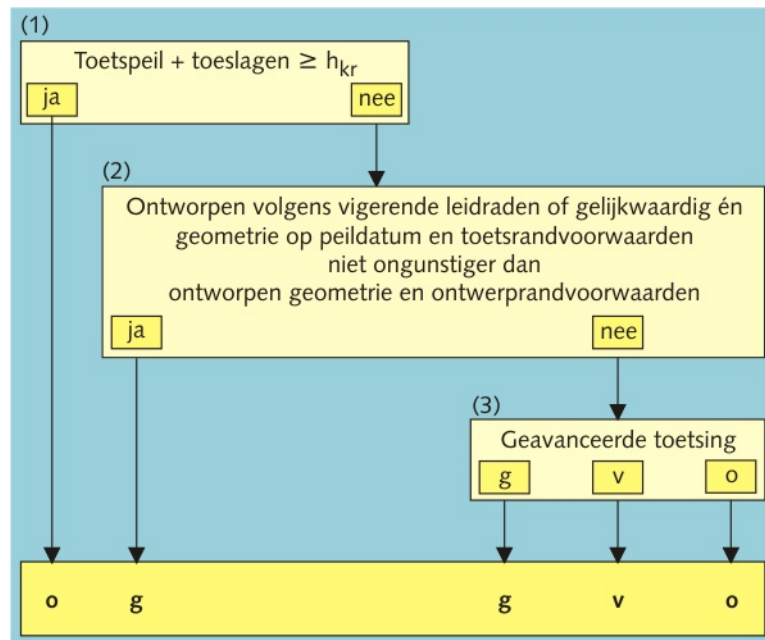
Figuur 5 - 4.2
Hoofdschema voor de beoordeling van de Hoogte HT van Maaskaden



Overloop HTL

Overloop treedt op als Toetspeil + toeslagen hoger is dan de kruin. De beoordeling is weergegeven in Figuur 5 - 4.3. Stap 1 is de eenvoudige toetsing, stap 2 is de gedetailleerde toetsing en stap 3 is de geavanceerde toetsing.

Figuur 5 - 4.3
Beoordelingsschema Overloop HTL voor Maaskaden



Stap 1: Eenvoudige toetsing: waterstand hoger dan kruin?

Als Toetspeil + toeslagen hoger is dan de kruinhoogte, is de score direct 'onvoldoende'. Zo niet, dan wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

De bepaling van Toetspeil + toeslagen is beschreven in § 2.1 van dit katern en de bepaling van de kruinhoogte is beschreven in § 3.1 van dit katern.

Stap 2: Gedetailleerde toetsing: toepassing van de ontwerpmethode

In deze stap wordt getoetst of de kruinhoogte voldoet aan de vigerende ontwerpregels. Voor de Maaskaden worden daarbij de ontwerpregels van project Maaswerken gebruikt, zoals vastgelegd in de 'Herziening POL Zandmaas' [33]. Voor het toetsspoor Overloop HTL is alleen het deel van de ontwerpregels van belang dat betrekking heeft op het faalmechanisme overloop.

De hoogte van de groene kaden moet voldoen aan:

$$h_{kr} \geq \text{Toetspeil} + \text{toeslagen} + 0,3 \text{ m}$$

Waarin h_{kr} de absolute kruinhoogte is in meters ten opzichte van NAP op de peildatum.

Als aan deze voorwaarde wordt voldaan is de score 'goed'. Zo niet, dan is de score niet direct 'onvoldoende', maar wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Merk op dat in deze stap 2 in ieder geval de actuele kruinhoogte wordt bepaald en dat een inschatting van de zettingen wordt gemaakt (zie § 3.1). De bepaling van Toetspeil + toeslagen is beschreven in § 2.1.

Stap 3: Geavanceerde toetsing op overloop

Indien de kruinhoogtemarge kleiner is dan 0,3 m (de grenswaarde uit stap 2), is geavanceerde toetsing nodig. Hiervoor is de inzet van specialisten nodig. Daarbij kan onder meer worden beschouwd in hoeverre de onzekerheden in de maatgevende waterstand op de specifieke toetslocatie worden afgedekt door de aanwezige kruinhoogtemarge.

Merk op dat voor deze geavanceerde toetsing in de praktijk vaak een integrale beschouwing van zowel overloop als golfoverslag nodig zal zijn.

Golfoverslag HTG

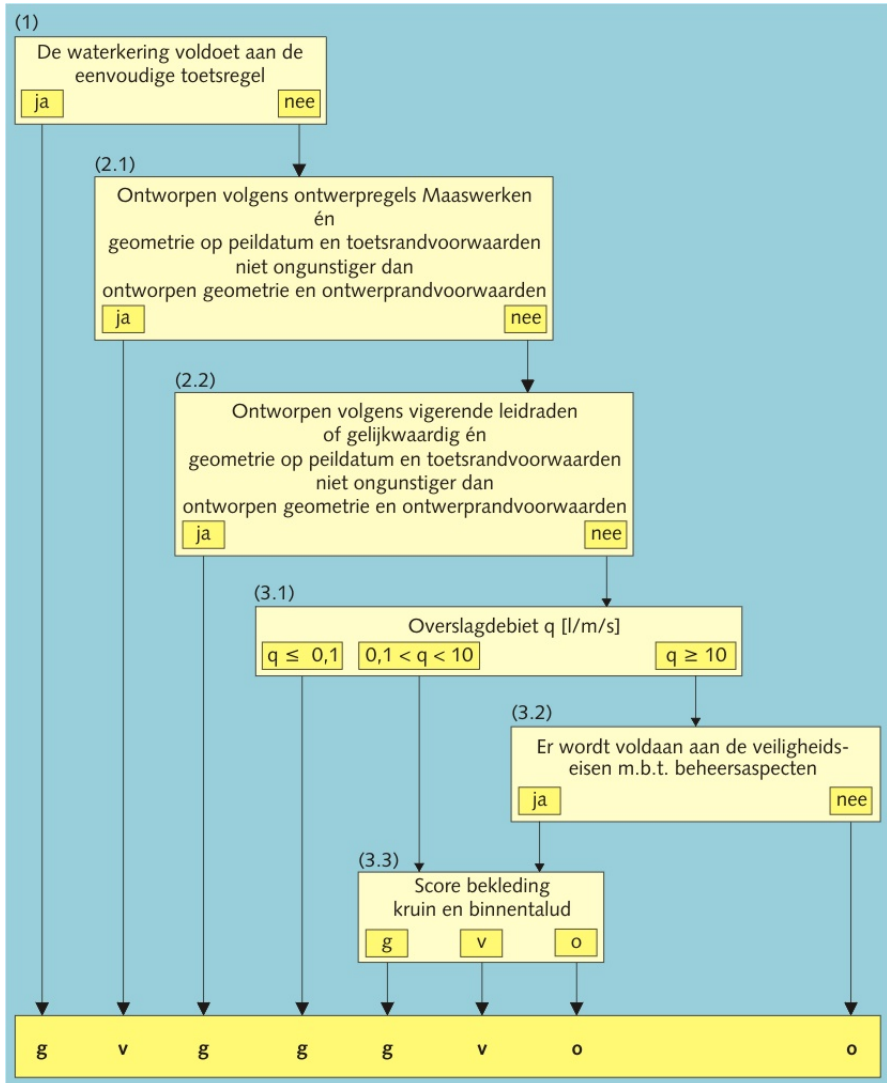
Overslag treedt op door golven die tegen het talud oplopen tot over de kruin. Waterkeringen kunnen een bepaalde hoeveelheid golfoverslag weerstaan, maar ze falen als de overslag leidt tot onacceptabele schade aan kruin of binnentalud of als de overslag de situatie tijdens hoogwater onbeheersbaar maakt. De beoordeling op golfoverslag is weergegeven in Figuur 5 - 4.4. Stap 1 en 2 zijn de eenvoudige toetsing, stap 3 is in de eerste plaats de gedetailleerde toetsing, maar deze stap kan ook geavanceerde elementen bevatten.

Stap 1: Eenvoudige toetsing

Indien het overslagdebiet q in maatgevende omstandigheden kleiner dan of gelijk aan 0,1 l/m/s is, heeft dit een verwaarloosbare invloed op de waterkering. In dat geval kan de score 'goed' worden toegekend.

Normaal gesproken wordt het overslagdebiet berekend volgens de rekenregels in het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TRGG) [20], en dit is een gedetailleerde toetsing (zie ook stap 3.1). In bepaalde gevallen zal echter uit andere bron al bekend zijn dat het overslagdebiet kleiner is dan of gelijk aan 0,1 l/m/s. Indien hieraan wordt voldaan kan de score 'goed' worden gegeven. Zo niet, dan wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Figuur 5 - 4.4
Beoordelingsschema Golfverslag HTG voor
Maaskaden



Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethode

Voor de Maaskaden wordt getoetst op twee ontwerpmethodes: zie stap 2.1 en 2.2. Voor beide stappen geldt de aanvullende voorwaarden dat in ieder geval de actuele kruinhoogte wordt bepaald met een inschatting van de zettingen tot de peildatum en dat de gebruikte uitgangspunten en randvoorwaarden voor ontwerpen niet ongunstiger zijn dan de uitgangspunten en randvoorwaarden voor toetsen.

Er kan vanuit gegaan worden dat - indien de kade ontworpen is volgens vigerende ontwerpregels - de kruinhoogte op de peildatum niet lager is dan de minimaal vereiste kruinhoogte, zoals dit volgt uit de ontwerpregels en dat het niet nodig is om de actuele kruinhoogte inclusief zettingen tot de peildatum te bepalen. Achtergrond hiervoor is dat de Maaskaden recentelijk ontworpen zijn en in het ontwerp zettingen verdisconteerd zijn voor de gehele planperiode, die groter zijn dan de zettingen die optreden tot de peildatum. Dit dient echter iedere toetsronde gecontroleerd te worden aan de hand van kruinhoogtemetingen.

Hetzelfde geldt voor de taludhelling: indien de kade zich zet na aanleg zal de taludhelling minder steil worden. Dit betekent dat - indien sprake is van zettingen - de actuele taludhelling steiler zal zijn dan de taludhelling aan het eind van de planperiode. Er mag echter vanuit gegaan worden dat hiermee rekening is gehouden bij het ontwerp en dat de kade dus veilig zal zijn tot aan het eind van de planperiode bij zich niet wijzigende uitgangspunten en randvoorwaarden.

Stap 2.1: Ontworpen volgens ontwerpregels Maaswerken

Voor het ontwerp van de kaden in het project Maaswerken geldt de richtlijn in [34] voor de erosiebestendigheid van kruin en binnentalud. Deze memo behandelt eisen voor materiaalkwaliteit, graskwaliteit en laagdikte voor de kleilaag. Kaden die volgens deze richtlijn zijn ontworpen, krijgen een score 'voldoende' op Golfoverslag, aangezien een score 'goed' uitsluitend toegekend wordt indien voldaan is aan de ontwerpregels uit vastgestelde TAW/ENW-leidraden en -technische rapporten (zie stap 2.2).

Een toetsresultaat op basis van de gehanteerde ontwerpregels wordt uitsluitend toegekend als aangetoond is dat de gebruikte uitgangspunten en randvoorwaarden voor ontwerpen niet ongunstiger zijn dan de uitgangspunten en randvoorwaarden voor toetsen. Voor deze stap betekent dat het Toetspeil + toeslagen niet hoger mogen zijn dan de bij het ontwerp gehanteerde waarden voor het Ontwerppeil. Bij project Maaswerken is rekening gehouden met twee ontwerpwaterstanden, namelijk van 2006 en 2015. Om te voldoen aan deze toetsstap moeten beide peilen lager zijn dan Toetspeil + toeslagen.

Stap 2.2: Ontworpen volgens vigerende leidraden

Een score 'goed' wordt toegekend indien de kade is ontworpen volgens vigerende TAW/ENW-ontwerpleidraden voor rivierdijken:

- de leidraden voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied (LOR1) [2] en deel 2 - benedenrivierengebied (LOR2) [4], de Handreiking Constructief ontwerpen (HCO) [7] en het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG) [16];
- het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TRGG) [20].

Ook in deze stap 2.2 geldt de aanvullende voorwaarde dat de gebruikte uitgangspunten en randvoorwaarden voor ontwerpen niet ongunstiger zijn dan de uitgangspunten en randvoorwaarden voor toetsen. Voor deze stap betekent dat dat Toetspeil + toeslagen en bijbehorende golfhoogte niet hoger mogen zijn dan de bij het ontwerp gehanteerde waarden voor Ontwerppeil + toeslagen en bijbehorende golfhoogte en dat de bij het Toetspeil + toeslagen behorende golfperiode niet langer mag zijn dan de bij het ontwerp gehanteerde golfperiode.

Als de uitgangspunten en randvoorwaarden in ongunstige zin zijn veranderd, wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3: Berekening met vigerende rekenregels

Voor golfoverslag geldt dat in maatgevende omstandigheden het overslagdebiet q klein genoeg moet zijn dat de bekleding van kruin en binnentalud niet bezwijkt en dat het waterbezwaar door golfoverslag geen veiligheidsprobleem veroorzaakt. Het resultaat van de toetsing hangt af van de grootte van het overslagdebiet.

Stap 3.1: Berekening overslagdebiet q

De bepaling van het overslagdebiet q dat hoort bij de kruinhoogte h_{kr} en de taludhelling α , uitgaand van Toetspeil + toeslagen en bijbehorende golfrandvoorwaarden, is gelijk aan stap 2.1 van § 4.1.1.

Het vervolg van de toetsing wordt bepaald door de berekende waarde van het overslagdebiet q ; er worden drie gevallen onderscheiden:

- $q \leq 0,1$ l/m/s: het overslagdebiet is verwaarloosbaar. De score op Golfoverslag is 'goed'. In stap 1 is deze toetsing uitgevoerd met conservatieve tabellen; in deze stap 3 worden de ontwerpregels uit [20] toegepast;

- $0,1 \text{ l/m/s} < q < 10 \text{ l/m/s}$: de beheermatige gevolgen zijn zeker acceptabel, dus daarop hoeft niet te worden getoetst. Er moet wel worden getoetst op de standzekerheid van de dijk. De toetsing wordt voortgezet met stap 3.3;
- $q \geq 10 \text{ l/m/s}$: het overslagdebiet is zeer groot, dus er moet worden getoetst op zowel standzekerheid als beheerbaarheid. De toetsing wordt voortgezet met stap 3.2.

Stap 3.2: Overslagdebiet q groter dan 10 l/m/s : beheerbaarheid

Bij grote overslagdebieten (10 l/m/s en hoger) moet niet alleen op de standzekerheid van de waterkering worden getoetst (stap 3.3), maar ook op de gevolgen ten aanzien van toegankelijkheid en wateroverlast.

Bij een overslagdebiet van 10 l/m/s of hoger is de kruin bij maatgevende omstandigheden niet begaanbaar voor inspectie of reparatiewerkzaamheden. Bij de veiligheidsbeoordeling zal de beheerder moeten aantonen dat dat geen gevaar voor de veiligheid oplevert. Als de onbegaanbaarheid van de kruin de veiligheid wel in gevaar brengt, is de eindscore 'onvoldoende'.

Wanneer het voor de veiligheid niet noodzakelijk is dat de kruin bij maatgevende omstandigheden begaanbaar is, wordt het toelaatbare overslagdebiet bepaald door het toelaatbare waterbezwaar in het achtergelegen gebied:

- alleen als de berging of afvoermogelijkheden zodanig beperkt zijn dat de overslag de veiligheid in gevaar kan brengen, is de eindscore 'onvoldoende';
- als de overslag uit het oogpunt van berging en afvoer weliswaar onacceptabele overlast veroorzaakt, maar de veiligheid niet bedreigt of als de overslag uit het oogpunt van berging en afvoer geen of acceptabele overlast veroorzaakt wordt de toets voortgezet met stap 3.3.

Deze beoordeling kan verschillende niveaus hebben, variërend van eenvoudig tot geavanceerd. In alle gevallen zal de waterkeringbeheerder zelf een belangrijke inbreng moeten hebben.

Overigens kunnen de stappen 3.2 en 3.3 in het geval $q > 10 \text{ l/m/s}$ in willekeurige volgorde worden doorlopen: de slechtste score van beide stappen is bepalend voor het resultaat van de toetsing.

Stap 3.3: Overslagdebiet q groter dan $0,1 \text{ l/m/s}$: standzekerheid

Als het overslagdebiet q groter is dan $0,1 \text{ l/m/s}$ moet de standzekerheid van de bekleding op de kruin en op het binnentalud worden getoetst.

De toetsing van bekledingen wordt behandeld in Katern 8. Per bekledingstype wordt daarin apart aandacht besteed aan de toetsing van de kruin en het binnentalud. In de betreffende hoofdschema's is aangegeven hoe met bekledingen op de kruin en het binnentalud moet worden omgegaan:

- steenzettingen, zie Figuur 8 - 2.1:
Alleen te toetsen op Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG; de score is 'goed' als de kruin hoger is dan Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$, bij lagere kruinen is rekenwerk nodig;
- asfalt, zie Figuur 8 - 3.1:
De score is zeker 'goed' als de kruin hoger is dan Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$; bij een kruin tussen $\frac{1}{4} \cdot H_s$ en $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$ boven Toetspeil + toeslagen wordt alleen op Materiaaltransport AMT getoetst;



- gras, zie Figuur 8 - 4.2:
Gras op het binnentalud moet worden getoetst op Erosie door golfoverslag GEOV en op Afschuiving GAF.

Katern 8 bevat toetschema's voor elk van deze toetsporen, met hun eigen eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toetsstappen.

Voor toetsing van andere bekledingstypes is specialistische hulp nodig.

4.2 Stabiliteit ST

4.2.1 Beoordelingschema

De beoordeling wordt behandeld per deelspoor. In alle beoordelingschema's van stabiliteit zijn drie niveaus van toetsing te onderscheiden:

- **eenvoudige toetsing.** In dit geval kan zonder uitgebreid rekenwerk tot een positieve tussenscore worden gekomen. Ten eerste op basis van een geometrische toets, ten tweede op basis van de gehanteerde ontwerpmethodede;
- **gedetailleerde toetsing.** Hieronder wordt verstaan toetsing op basis van gegevensverzameling (dit kan variëren van inventariseren van bestaande gegevens tot aanvullend grondonderzoek) of door toepassing van rekenmodellen zoals beschreven in de vigerende leidraden en technische rapporten;
- **geavanceerde toetsing.** Hieronder moet worden verstaan toetsing op basis van state-of-the-art kennis over het faalmechanisme, geavanceerde rekenmodellen (niet-stationair, 3D etc.), actuele sterkte (reststerkte of bewezen sterkte) of een probabilistische aanpak.

Voor alle niveaus geldt, dat een score 'goed' of 'voldoende' alleen kan worden gegeven als het gedrag daarmee in overeenstemming is.

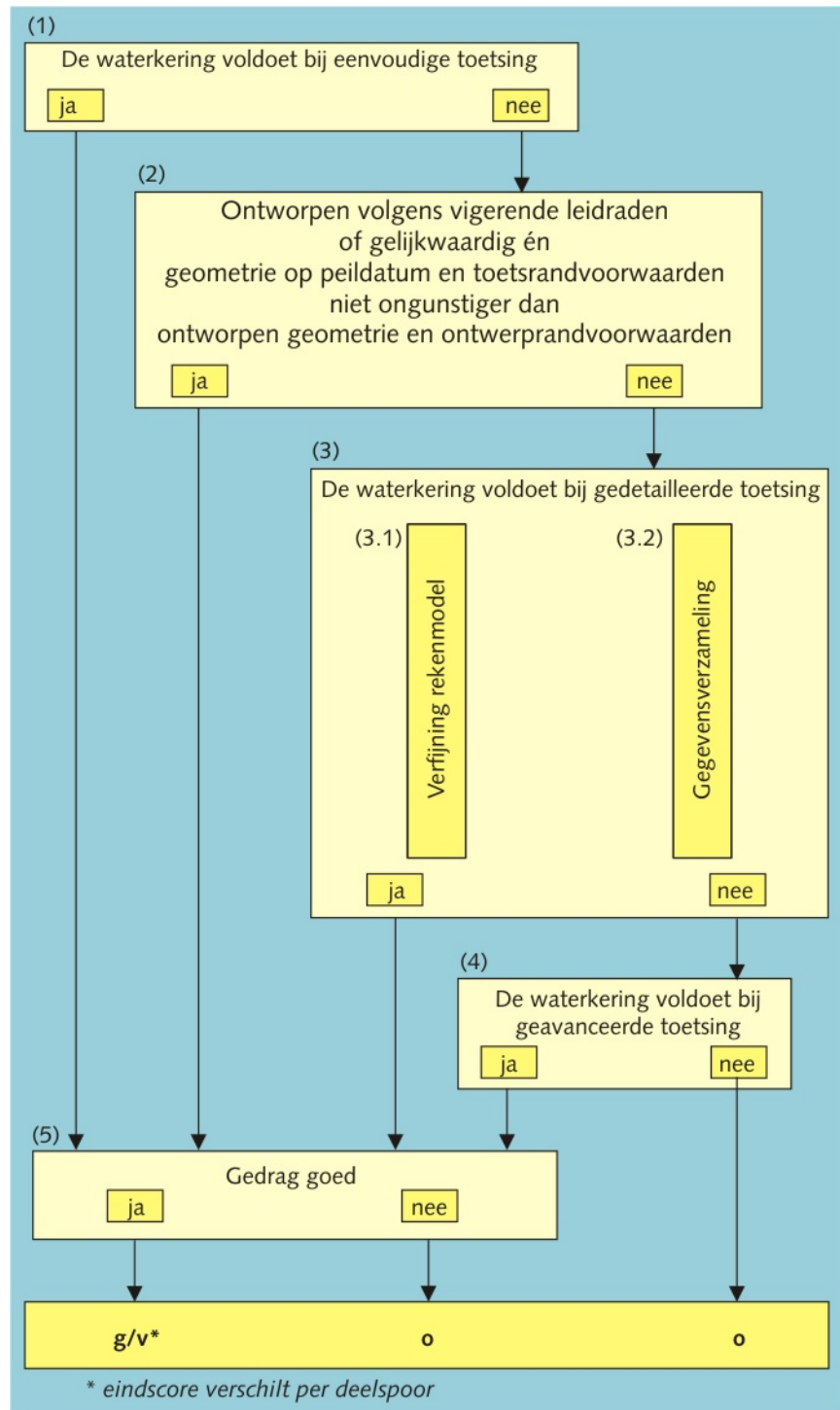
In Figuur 5 - 4.5 zijn de verschillende niveaus van toetsing in een beoordelingschema gepresenteerd. In deze figuur is aangegeven hoe tot een eindscore wordt gekomen. Opgemerkt moet worden dat de eindscore na een positief resultaat van de eenvoudige toets afhankelijk van het te beschouwen mechanisme 'goed' of 'voldoende' is. De pijlen in het schema zijn steeds in één richting getekend. In de praktijk is het goed denkbaar dat er naar aanleiding van het gedrag een terugkoppeling met gedetailleerde toetsing of geavanceerde toetsing plaatsvindt.

In het beoordelingschema zijn de verschillende vormen van gedetailleerd toetsen parallel in een blok weergegeven. Hiermee is aangegeven dat afhankelijk van de situatie en beschikbaarheid van gegevens kan worden gekozen voor het verzamelen van aanvullende gegevens (bijvoorbeeld grondonderzoek), of een modelmatige verfijning, of een combinatie van beiden.

Het uitgangspunt voor een gedetailleerde toetsing volgens de beoordelingssporen Piping en heave, Macrostabieliteit binnenwaarts, Macrostabieliteit buitenwaarts en Microstabieliteit moet zijn dat de geometrie van representatieve dwarsprofielen en zogenaamde geotechnische lengteprofielen beschikbaar zijn of worden opgesteld. Een geotechnisch lengteprofiel dient te zijn gebaseerd op geologische gebiedskennis en terreinonderzoek. Er wordt aanbevolen om topografisch, geohydrologisch en geologisch kaartmateriaal te raadplegen voor het vaststellen van locatiekeuze, intensiteit en diepte van het terreinonderzoek. In de ontwerpleidraden voor rivierdijken en zee- en meerdijken zijn handreikingen gedaan voor de basisomvang van een terreinonderzoek. Hiervoor bestaan geen harde criteria omdat de omvang van het

terreinonderzoek afhangt van de grilligheid van de ondergrond en het gewenste detailniveau van toetsen of ontwerpen.

Figuur 5 - 4.5
 Beoordelingsschema stabiliteit voor dijken en dammen (STPH, STBI, STBU en STM)



Stap 5, gedrag, is specifiek bedoeld om te verifiëren of er geen schade geconstateerd is die een rekenscore 'goed' of 'voldoende' tegenspreekt. Dit is niet hetzelfde, want het is beperkter dan het beheerdersoordeel zoals behandeld in hoofdstuk 6 van Katern 2. Voor alle beoordelingssporen geldt, dat een constatering van ongunstig gedrag in stap 5 niet direct zal leiden tot een score 'onvoldoende', maar aanleiding zal zijn voor nadere beoordeling van de situatie aan de hand van de gedetailleerde of geavanceerde regels.

M

m

Stap 1 van de toetsing op de geotechnische sporen (Piping en heave, Macrostabieleit binnenwaarts en buitenwaarts, Microstabieleit) is een eenvoudige beoordeling op kwalitatieve, geometrische of vereenvoudigde geotechnische parameters. Deze rekenregels zijn opgesteld voor de primaire waterkeringen van de eerste en tweede toetsronde, maar ze zijn ook toepasbaar voor de Maaskaden. In bepaalde gevallen zullen de specifieke omstandigheden van de Maaskaden ervoor zorgen dat de eenvoudige toetsing geen score oplevert. Conform het toetsschema wordt de toetsing dan voortgezet met stap 2.

4.2.2 Piping en heave STPH

De beoordeling op Piping en heave volgt het algemene schema in Figuur 5 - 4.5. Voor een beschrijving van beide mechanismen wordt verwezen naar hoofdstuk 1 van dit katern. Hieronder volgt een toelichting per stap gericht op toepassing voor het spoor Piping en heave.

Stap 1: Eenvoudige toetsing Piping en heave

De eenvoudige toets is gebaseerd op de methode Bligh en een opbarstcontrole bij de aanname dat de stijghoogte in het watervoerende pakket gelijk is aan Toetspeil + toeslagen. Bij de eenvoudige toets wordt geen onderscheid gemaakt tussen Piping en heave en wordt alleen de horizontale kwelweglengte beschouwd.

In onderstaand stappenplan is aangegeven welk profiel op grond van geometrie en bodemopbouw veilig is voor wat betreft piping. De minimaal benodigde informatie is: het maximale verval over de waterkering, de bodemopbouw van de ondergrond (diepte van watervoerende lagen en eventuele tussenzandlagen), opbouw en de geometrie van de dijk, de minimale dikte en het (gewogen) gemiddelde volumegegewicht van het slecht waterdoorlatende pakket boven het zandpakket of de tussenzandlaag. Wanneer de waterkering voldoet aan de eisen bij eenvoudige toetsing en er in het verleden geen zandmeevoerende wellen zijn geconstateerd dan is de tussenscore 'goed' en wordt doorgegaan met stap 5. In de andere gevallen wordt doorgegaan naar stap 2.

De wijze van eenvoudige toetsing is afhankelijk van de globale opbouw van het grondlichaam (dijk of dam) en de ondergrond. Onderscheid wordt gemaakt in de volgende types:

- Type 1A een dijk bestaande uit klei op een slecht doorlatende ondergrond (klei- en veenlagen);
- Type 2A een dijk bestaande uit zand op een slecht doorlatende ondergrond (klei- en veenlagen);
- Type 1B een dijk bestaande uit klei op een goed doorlatende ondergrond, waarbij er direct onder de zool van de dijk geen afdekkend slecht doorlatende lagen aanwezig zijn;
- Type 2B een dijk bestaande uit zand op een goed doorlatende ondergrond, waarbij er direct onder de zool van de dijk geen afdekkend slecht doorlatende lagen aanwezig zijn.

Voor het vaststellen van de bodemopbouw van de dijk en de ondergrond dient het volgende in acht te worden genomen:

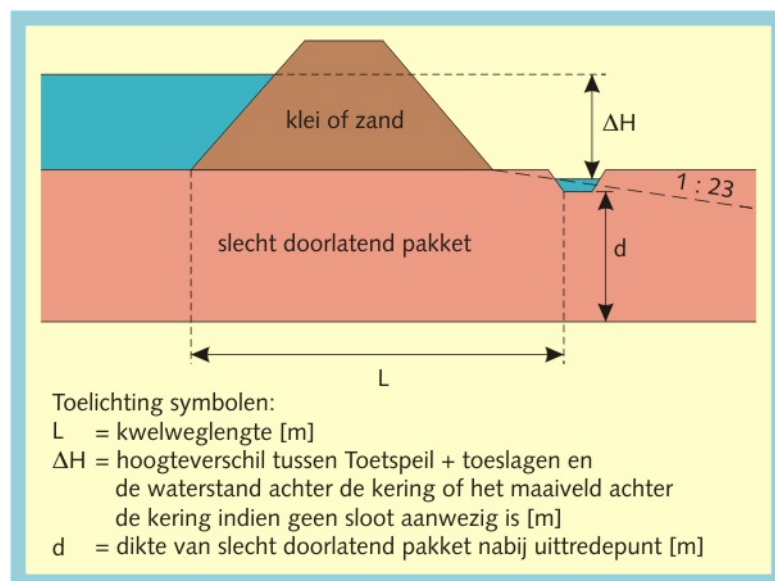
- indien wordt aangenomen dat er een slecht doorlatende ondergrond aanwezig is (type A), moet zijn geverifieerd dat er lokaal geen potentieel pipinggevoelige lagen, zoals zandige geulopvullingen, tussenzandlagen of opduikingen van watervoerende pakketten aanwezig zijn. Indien er onvoldoende duidelijkheid bestaat over het al dan niet aanwezig zijn van zandige lagen dan dient deze onzekerheid in de schematisering van de bodemopbouw in rekening te worden gebracht. Bij grote onzekerheid over de aanwezigheid van zandige lagen kan dit betekenen dat de ondergrond moet worden geschematiseerd als type B;
- bij zanddijken (type 2B) moet worden opgemerkt dat er bij de aanleg van een dijk een sliblaagje kan zijn achtergebleven waaronder een voor piping mogelijk kritieke kwelweg zou kunnen ontstaan. In dit geval dient de dijk te worden getoetst als een dijk van het type 1B;
- bij kleidijken (type 1A) moet men bedacht zijn op de aanwezigheid van ingesloten zandlagen die zijn ontstaan door de geschiedenis van dijkverhoging. Denk hierbij bijvoorbeeld aan oude wegfunderingslagen. Indien geen slecht doorlatende bekleding op het buitentalud aanwezig is en deze zandlagen doorlopen over de volle breedte van de dijk, dienen deze zandlagen te worden getoetst op piping zoals dijken van het type 1B;
- in de praktijk is het onderscheid tussen een kleidijk (type 1) en een zanddijk (type 2) niet altijd eenduidig vast te stellen, omdat dijken soms zijn opgebouwd uit een combinatie van zand en klei. Gedacht kan worden aan kleidijken die zijn verzwaaard met zand of aan zanddijken met perskaden van keileem ter plaatse van het binnen- en buitentalud. In dergelijke gevallen kan als regel worden gehanteerd dat in geval van twijfel over de opbouw van de dijk moet worden uitgegaan van een dijk type 1. Indien kan worden aangetoond dat de dijk aan binnenwaartse zijde bestaat uit een zandlichaam, bijvoorbeeld door binnendijkse of vierkante verzwaring in zand, dan mag voor het toetsen van piping worden uitgegaan van het type 2.

Hieronder is de eenvoudige toetsing per bodemtype van dijk en ondergrond beschreven.

Type 1A en 2A: dijken bestaande uit klei of zand op een slecht doorlatende ondergrond

In Figuur 5 - 4.6 zijn de afmetingen weergegeven die voor de eenvoudige toetsing van dit type dijken van belang zijn.

Figuur 5 - 4.6
Eenvoudige toetsing Piping voor klei- en zanddijken op slecht doorlatende ondergrond (Type 1A en 2A)



Indien de afmetingen dusdanig zijn dat aan één van onderstaande criteria wordt voldaan dan is er geen gevaar voor piping en is de eindscore voor piping 'goed':

- opdrukveiligheid $\frac{\sigma_g}{\sigma_w} \geq 1,0$;
- $\frac{L}{18} \geq \Delta H - 0,3 \cdot d$

waarin:

σ_g	=	waarde van de gronddruk aan de onderzijde van het afdekkend pakket van de slecht doorlatende lagen (klei/veen), bepaald bij een ongunstig (locatie) gekozen bodemopbouw en een ongunstig gekozen waarde voor de volumegewichten van de diverse bodemlagen. Bij het kiezen van de locatie dient de grilligheid van laagopbouw in het gebied te worden meegenomen, waarbij de nadruk ligt op de dikte van lagen met een laag volumegewicht. De grilligheid van de ondergrond wordt impliciet beschouwd bij het vaststellen van de benodigde intensiteit van het grondonderzoek. Als ongunstige waarde van het volumegewicht geldt de karakteristieke schatting van de laaggemiddelde waarde (het gemiddelde over de hele laag). In Appendix II van het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] of in bijlage 1 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is aangegeven op welke wijze een karakteristieke schatting van een laaggemiddelde waarde kan worden gemaakt. Bij gebrek aan gegevens kan worden uitgegaan van de waarden uit Tabel 1 van NEN 6740 [43]	[kN/m ²]
σ_w	=	opwaartse waterdruk onder het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen. Bij gebrek aan gegevens over de stijghoogte bij Toetspeil + toeslagen kan de opwaartse waterdruk worden bepaald bij een stijghoogte gelijk aan Toetspeil + toeslagen. Dit is een conservatieve aanname. Indien de opwaartse waterdruk op basis van modelberekeningen of extrapolatie van metingen wordt bepaald, moet een minimaal vereiste opdrukveiligheid van 1,1 of 1,2 worden aangehouden afhankelijk van de wijze waarop de stijghoogte is bepaald, zie gedetailleerde toetsing (stap 3.1.2)	[kN/m ²]
L	=	kwelweglengte. Dit is de afstand tussen het in- en uittreepunt. Voor de keuze van het in- en uittreepunt is het van belang om de hierna genoemde opmerkingen over in- en uittreepunt in acht te nemen	[m]
ΔH	=	hoogteverschil tussen Toetspeil + toeslagen en de waterstand achter de kering of het maaiveld achter de kering indien geen sloot aanwezig is	[m]
d	=	dikte van afdekkend pakket slecht doorlatende lagen nabij uittredepunt	[m]

Het eerste criterium heeft betrekking op het uitsluiten van opbarsten van het slecht doorlatende afdekkende pakket bij hoge waterdrukken in het onderliggende watervoerende pakket en het tweede criterium heeft betrekking op de minimaal vereiste kwelweglengte indien niet wordt voldaan aan het opbarstcriterium.

Intreepunt

Een eventuele afsluitende laag op het voorland wordt bij de eenvoudige toets niet meegenomen bij het bepalen van het intreepunt. In de gedetailleerde toets is aangegeven onder welke voorwaarden deze afdekkende laag wel mag worden meegenomen.

Uittreepunt

In veel gevallen zal de binnenteen van de dijk of een nabij gelegen slootbodembodem maatgevend zijn. Indien er sprake is van een slecht doorlatende ondergrond is de slootbodembodem vaak het uittreepunt. Echter bij een aflopend maaiveld met gemiddelde helling van 1:23 of steiler dienen ook verder van de dijk gelegen mogelijke uittreepunten te worden gecontroleerd.

Type 1B: dijken bestaande uit klei op goed doorlatende ondergrond

In Figuur 5 - 4.7 zijn de afmetingen weergegeven die van belang zijn voor de eenvoudige toetsing van dijken bestaande uit slecht doorlatend materiaal op een goed doorlatende ondergrond. Voor dit type dijken geldt het volgende criterium:

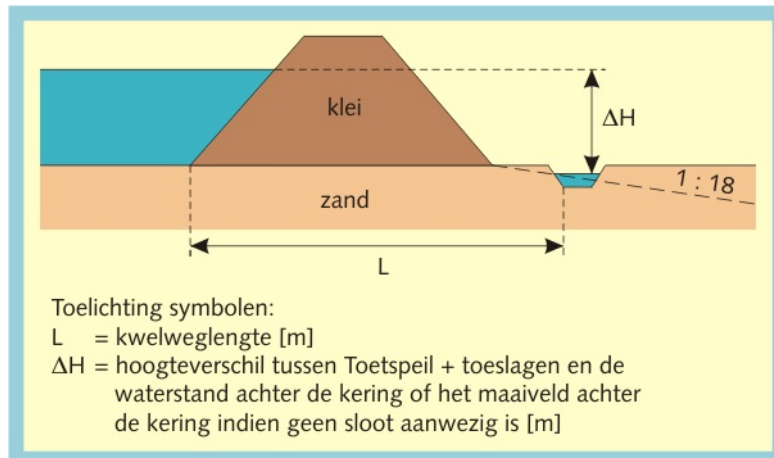
$$\frac{L}{18} \geq \Delta H$$

Type 2B: dijken of dammen bestaande uit zand op een goed doorlatende ondergrond

Voor dijken of dammen bestaande uit zand op een goed doorlatende ondergrond is piping niet relevant. De gedachte hierachter is dat, indien het materiaal uitspoelt bij de binnenteen van een zanddijk, er geen pipe zal kunnen ontstaan, omdat het gat direct weer instort aangezien zand cohesieloos is. Het uitspoelen van zanddeeltjes nabij de teen wordt in deze gezien als een probleem dat onder het spoor Microstabiliteit (zie § 4.2.5) wordt beoordeeld.

Figuur 5 - 4.7

Eenvoudige toetsing Piping voor kleidijken op goed doorlatende ondergrond (Type 1B)



Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Als het profiel niet zonder meer als veilig kan worden beschouwd moet de wijze van ontwerpen worden nagegaan. Als ontworpen is volgens de ontwerpleidraden voor rivierdijken [2, [4], het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11], het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16], of de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] en de uitgangspunten en randvoorwaarden zijn niet ongunstiger geworden t.o.v. de oorspronkelijke ontwerpuitgangspunten, dan is de tussenscore 'goed' en wordt doorgegaan met stap 5, in de overige gevallen met stap 3.

Vele bestaande dijken zijn ontworpen vóór het gereedkomen van de TAW-ontwerpleidraden. Deze ontwerpen zijn niet gebaseerd op algemeen erkende grondslagen, waardoor de kwaliteit van het ontwerp kan variëren tussen geavanceerd en ambachtelijk. Met name de grondmechanische gegevens waarop het ontwerp werd gebaseerd en de wijze waarop met die gegevens werd omgegaan verschilde sterk. Als er een oud rapport beschikbaar is, kan worden nagegaan of de rapportage voor wat betreft piping voldoende overeenkomt met de methodiek zoals in de leidraden voor het ontwerpen van rivierdijken is verwoord. Deze beoordeling dient door deskundigen te worden verricht. Als dit zo is, zou het beoordelingsschema kunnen worden gevolgd als ware er ontworpen volgens genoemde Leidraden.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Piping en heave

Zoals opgemerkt in § 4.2.1 is het uitgangspunt voor een gedetailleerde toetsing dat er zogenaamde geotechnische lengteprofielen beschikbaar zijn of worden opgesteld. Voor Piping en heave is vooral het lengteprofiel voor en achter de dijk van belang.

De gedetailleerde toetsing kan bestaan uit (een combinatie van):

- 3.1 : modelmatige verfijning (conform vigerende technische rapporten);
- 3.2 : gegevensverzameling.

Bij een gunstig resultaat van de gedetailleerde toetsing volgens Figuur 5 - 4.8 kan een tussenscore 'goed' worden aangehouden en dient te worden verder gegaan met stap 5. Bij een ongunstig resultaat wordt verder gegaan met stap 4.

Stap 3.1: Modelmatige verfijning

In Figuur 5 - 4.8 is een rekenschema gepresenteerd voor de gedetailleerde toetsing van de mechanismen Piping en heave. In dit schema wordt een aantal stappen onderscheiden.

Stap 3.1.1: Bodemopbouw

Indien de gedetailleerde toetsing uitsluitend bestaat uit een modelmatige verfijning kan de bodemopbouw op dezelfde wijze worden geschematiseerd als bij de eenvoudige toetsing. Voor nadere detaillering in bodemopbouw wordt verwezen naar stap 3.2 'gegevensverzameling'.

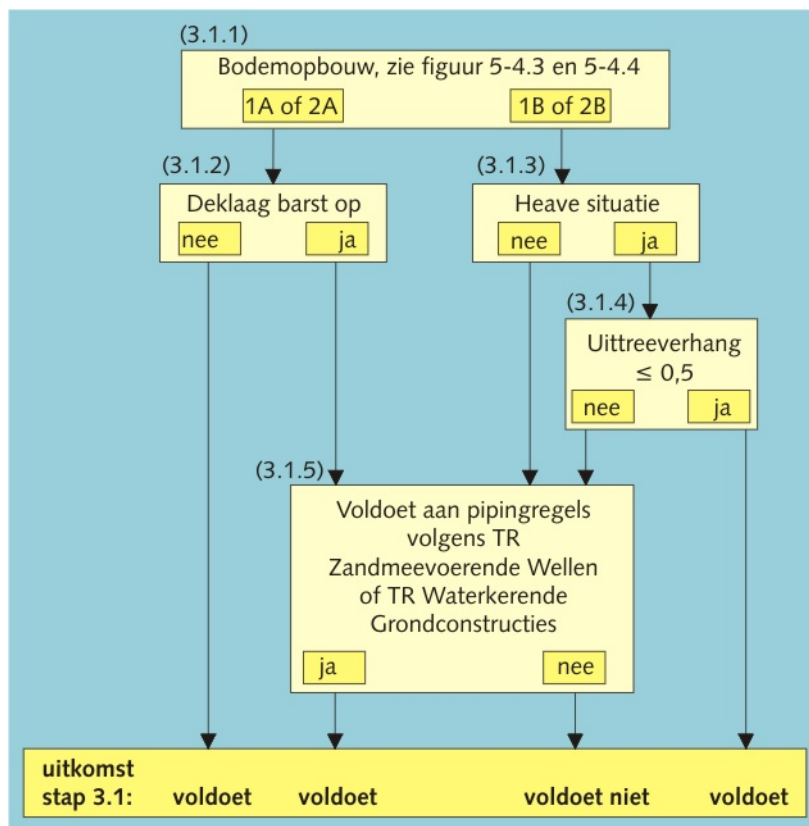
Stap 3.1.2: Opbarsten deklaag

- indien de stijghoogte gelijk wordt gesteld aan Toetspeil + toeslagen dan wordt een opdrukveiligheid gehanteerd van 1,0;
- indien stijghoogte uitsluitend is bepaald op basis van modellen wordt een opdrukveiligheid van 1,2 aangehouden;
- indien stijghoogte is bepaald op basis van responsmetingen en modellen en onzekerheid in stijghoogte klein is of indien de onzekerheden in stijghoogte zijn afgedekt met veilige parameters en modelrandvoorwaarden kan worden uitgegaan van een opdrukveiligheid van 1,1.

Bij het beschouwen van het opbarsten van sloten kan worden gerekend met een effectieve laagdikte van het slecht doorlatende pakket. Het bepalen van deze effectieve laagdikte is beschreven in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16].

Indien de opdrukveiligheid kleiner is dan de vereiste waarde voor opbarsten dan dient te worden verder gegaan met stap 3.1.5 en indien de veiligheid groter is dan de vereiste waarde dan kan er geen doorgaande kwelweg worden gevormd en treedt er geen piping op zodat de uitkomst van stap 3.1 'voldoet' is.

Figuur 5 - 4.8
 Rekenschema Piping en heave stap 3:
 Gedetailleerde toetsing



Stap 3.1.3: Heave-situatie

Er is sprake van een heave-situatie indien de kwelstroom ter plaatse van het uittreepunt verticaal is. Een kwelstroom kan in verticale richting worden geforceerd door de aanwezigheid van een kwel scherm of van ontlastsloten nabij het uittreepunt. Voor deze stap is inzicht in het grondwaterstromingsbeeld onder/door de dijk vereist. Indien niet op voorhand duidelijk is of er sprake kan zijn van verticale uitstroming, dan kan gebruik worden gemaakt van een grondwaterstromingsberekening. Indien sprake kan zijn van een potentiële heave situatie dient te worden verder gegaan naar stap 3.1.4 zo niet dan verder naar stap 3.1.5.

Stap 3.1.4: Uittreeverhang

Indien er sprake is van verticale uittreding van kwelwater kan de verticale gradiënt van de grondwaterstroming worden getoetst aan een kritiek verhang. Voor het kritieke verhang wordt in het algemeen 0,5 aangehouden. Voor nadere nuancering van deze waarde wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16]. Voor de controle op uittreeverhang dient een grondwaterstromingsberekening te worden uitgevoerd. In plaats van een controle op uittreeverhang kan ook een controle worden uitgevoerd met de methode Lane of met de meer geavanceerde Fragmentenmethode. Voor het gebruik en de beperkingen van deze rekenmethodes wordt verwezen naar het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16]. Indien wordt voldaan aan het vereiste uittreeverhang dan kan de eindscore ‘voldoet’ worden toegekend. In de andere gevallen dient te worden verder getoetst volgens stap 3.1.5.

Stap 3.1.5: Pipingregels

Voor piping kan worden gebruik gemaakt van de eenvoudige methode Bligh of de meer gedetailleerde methode Sellmeijer. Deze methodes zijn alleen zinvol indien men over voldoende korrelverdelingen beschikt om parameters te kunnen vaststellen (zie ook stap 3.2.3). Naast parameters die worden afgeleid uit de korrelverdelingen is de dikte van de watervoerende laag een invoerparameter bij de methode Sellmeijer. Opgemerkt wordt dat de methode Sellmeijer geldig is indien de kwelweglengte groter is dan tien maal het verval over de waterkering. Voor het gebruik van beide rekenmethodes wordt verwezen naar het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16]. De uitkomst van de pipingregels geeft direct het eindresultaat van stap 3.1 namelijk 'voldoet' of 'voldoet niet'.

Stap 3.2: Gegevensverzameling

Voor een gedetailleerde toets op basis van gegevensverzameling kan worden gedacht aan:

- bepalen van de bodemopbouw van het dijklichaam. Dit is vooral van belang indien er onzekerheid bestaat of het al dan niet aanwezig zijn van pipinggevoelige zandlagen in de kern van de dijk (stap 3.2.1);
- bepalen van de dikte en de doorlatendheid (ofwel samengenomen: de hydraulische weerstand) van het afdekkende pakket op het voorland (stap 3.2.2);
- bepalen van de dikte en het gewicht van het afdekkende pakket op het achterland (stap 3.2.3);
- bepalen van de korrelverdeling en de dikte van het watervoerende pakket (stap 3.2.4);
- ijking van het model op basis van responsmetingen (stap 3.2.5).

Op basis van bovengenoemde gegevens kan opnieuw een eenvoudige toetsing worden uitgevoerd of kunnen de rekenregels zoals vermeld onder stap 3.1 (modelmatige verfijning) worden toegepast.

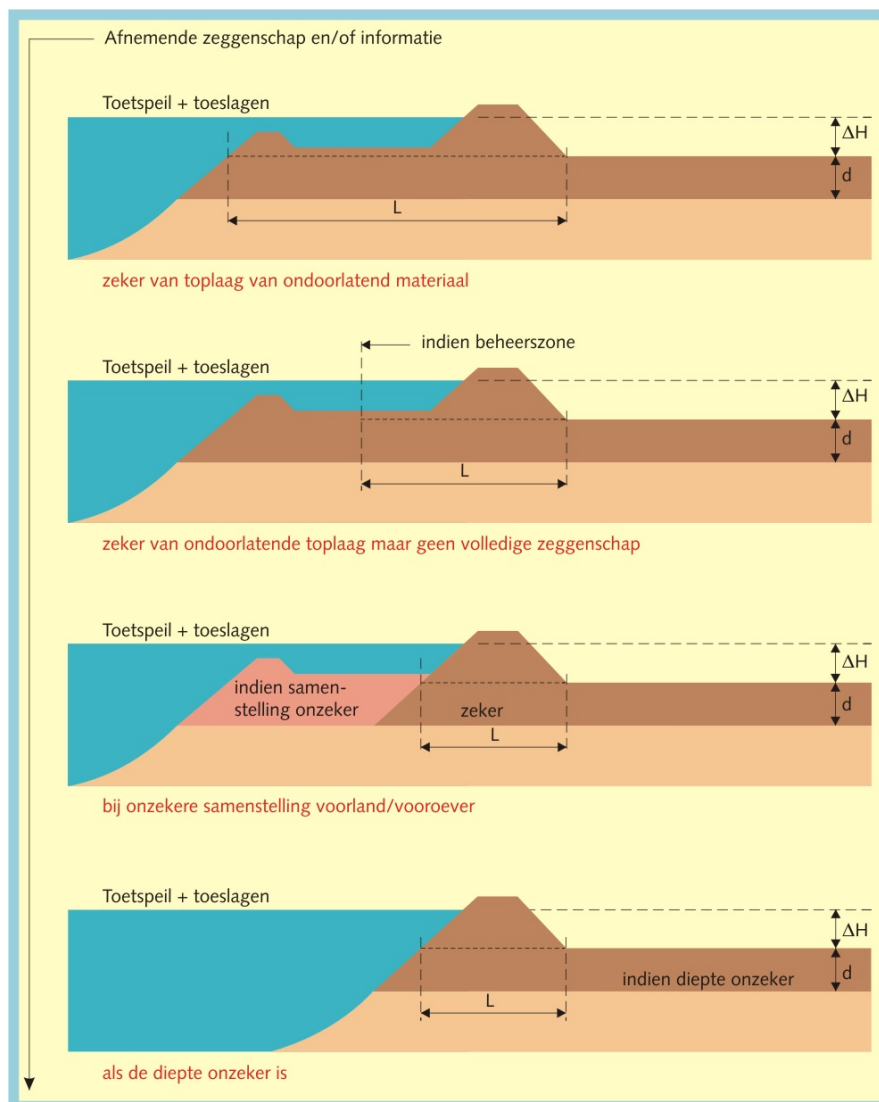
Stap 3.2.1: Bodemopbouw van het dijklichaam

Indien er sprake is van een overwegend uit klei opgebouwd dijklichaam dan dient op basis van grondonderzoek te worden nagegaan of er doorgaande zandlagen in de dijk aanwezig zijn. Indien dit niet het geval is dan kan piping door het dijklichaam zelf worden uitgesloten. Indien er een afsluitende kleibekleding op het buitentalud aanwezig is zijn doorgaande kwelwegen in het dijklichaam onwaarschijnlijk en hoeft om deze reden geen gedetailleerd grondonderzoek te worden uitgevoerd.

Stap 3.2.2: Dikte en samenstelling van het afdekkende pakket voorland en de locatie van het intreepunt

Door het uitvoeren van grondonderzoek op het voorland kan worden vastgesteld of er een afdekkende laag op het voorland aanwezig is. Een afdekkende laag op het voorland kan worden beschouwd als verlenging van de kwelweglengte indien wordt voldaan aan eisen ten aanzien van de hydraulische weerstand en volledige zeggenschap door beheerder van waterkering, zie Figuur 5 - 4.9. Ook is het van belang dat rekening wordt gehouden met het effect van inzijging door de afdekkende laag. Dit effect zorgt ervoor dat, afhankelijk van de geohydrologische kenmerken, niet het volledige voorland als kwelweglengte mag worden meegenomen. In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] is aangegeven op welke wijze het theoretisch intreepunt (rekening houdend met inzijging) bepaald kan worden. Het meenemen van een slecht waterdoorlatende deklaag op het voorland is alleen mogelijk indien men over uitgebreid grondonderzoek beschikt waaruit blijkt dat er overal een afsluitende laag aanwezig is van tenminste 1 m dik.

Figuur 5 - 4.9
Ligging in- en uittreepunt



In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] worden richtlijnen gegeven voor de eigenschappen van deze laag, zo wordt gesteld dat een laag als afsluitend mag worden gezien indien het lutumgehalte meer dan 20% bedraagt en het zandgehalte minder is dan 35%. Afhankelijk van het landgebruik dient deze kleilaag te worden beschermd met een toplaag van 0,3 à 0,5 m. Verder moet rekening worden gehouden met een marge voor eventuele ontworteling van bomen, aanwezigheid van sloten etc.

Stap 3.2.3: Dikte en gewicht van het aflekkende pakket achterland

Door gericht terreinonderzoek in het achterland kan de locatie van het uittreepunt nauwkeuriger worden vastgesteld.

Stap 3.2.4: Korrelverdeling en dikte van watervoerende pakket

Aan de hand van korrelverdelingen kunnen parameters worden bepaald voor een pipingcontrole, zie stap 3.1.5. Voor de methode Bligh kan worden uitgegaan van de gemiddelde waarde van de korreldiametermediaan uit de korrelverdeling. De methode Sellmeijer is gebaseerd op representatieve parameters. Dit betekent dat men over voldoende gegevens (korrelverdelingen) dient te beschikken om deze methode te kunnen toepassen.

Stap 3.2.5: Diking van model op basis van responsmetingen

Op basis van stijghoogte-responsmetingen bij sterke fluctuaties van de buitenwaterstand kan het rekenmodel voor grondwaterstroming worden geijkt en kunnen modelonzekerheden verder worden teruggebracht. Voor dergelijke methodes wordt verwezen naar Bijlage 2 van de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] of het nog te verschijnen Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [29].

Stap 4: Geavanceerde toetsing Piping en heave

Indien de veiligheid ten aanzien van piping en/of heave na een gedetailleerde toetsing niet kan worden gegarandeerd kan worden overwogen om een geavanceerde toetsing uit te voeren. Voor Piping en heave bestaan verschillende methodes die, afhankelijk van de situatie, een scherpere beoordeling mogelijk maken. Geavanceerde toetsing kan bij een gunstig resultaat tot een tussenscore 'goed' of 'voldoende' leiden. Of de tussenscore 'goed' dan wel 'voldoende' is, is ter beoordeling van de specialist. Er zijn echter situaties waarbij op voorhand al kan worden gesteld dat geavanceerde toetsing niet zinnig is omdat de kans verwaarloosbaar is dat geavanceerde toetsing tot een score 'goed' of 'voldoende' leidt. Het is daarom verstandig om als eerste stap van een geavanceerde toetsing na te gaan of geavanceerde toetsing zin heeft en welke methodes in aanmerking komen. Ook voor deze eerste stap is specialistische kennis nodig.

In sommige gevallen is het zinvol om voor de analyse van piping of heave gebruik te maken van geavanceerde grondwaterstromingsmodellen. Hierbij kan gedacht worden aan:

- niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de duur van hoogwater relatief kort is, zoals bijvoorbeeld bij dijken in een getijdengebied;
- ruimtelijke grondwaterstromingsmodellen (driedimensionaal of quasi-driedimensionaal) voor situaties waarbij de geometrie of laagopbouw niet uniform is in de richting van de waterkering of loodrecht op de waterkering.

Deze modellen kunnen worden gebruikt om een betere inschatting te kunnen maken van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden of om het uittreeverhang te kunnen bepalen. In de vigerende technisch rapporten zijn geen algemene criteria opgenomen met betrekking tot het kritieke uittreeverhang voor het mechanisme piping. Bij de beoordeling van het berekende uittreeverhang is specialistische kennis over het faalmechanisme piping vereist.

Ook is het mogelijk om een probabilistische piping- of heave-analyse uit te voeren. Voor een dergelijke aanpak zijn specialistische kennis en rekenmodellen vereist.

Stap 5: Gedrag Piping en heave

In alle gevallen geldt dat de tussenscore uit de stappen 2, 3 of 4 alleen mag worden overgenomen als eindscore als er in het verleden geen zandmeevoerende wellen zijn geconstateerd. In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] is een Schadecatalogus opgenomen. Met behulp van foto's van schadebeelden en bijbehorende categorisering naar fase van welvorming en urgentie kan op eenduidige wijze een globale inschatting worden gemaakt van de mate waarin de geconstateerde wel een potentieel gevaar kan opleveren voor piping. Deze stap dient door of samen met de beheerder van de dijk te worden uitgevoerd.

Net als bij de andere geotechnische beoordelingssporen geldt, dat een constatering van ongunstig gedrag niet direct zal leiden tot een score 'onvoldoende', maar aanleiding zal zijn voor nadere beoordeling van de situatie aan de hand van de gedetailleerde of geavanceerde regels.

4.2.3 Macrostabiteit binnenwaarts STBI

De beoordeling op binnenwaartse macrostabiteit volgt het algemene schema in Figuur 5 - 4.5. Hieronder volgt een toelichting per stap gericht op toepassing voor het spoor Macrostabiteit binnenwaarts.

Stap 1: Eenvoudige toetsing Macrostabiteit binnenwaarts

Dijken die in hoogte of breedte zijn overgedimensioneerd kunnen op basis van een geometrische toets worden beoordeeld. Voor de geometrische toets dient onderstaand stappenplan te worden doorlopen.

De geometrische toets is gebaseerd op een restprofielbenadering. Beoordeeld wordt de resterende kruinbreedte na een binnenwaartse afschuiving. Voor achtergronden en een gedetailleerde uitwerking van een dergelijke restbreedte-beoordeling wordt verwezen naar het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48].

Een positieve uitkomst bij een geometrische toets houdt niet automatisch in dat wordt voldaan aan de vereiste veiligheid conform de ontwerpleidraden. Bij de geometrische toets wordt immers uitgegaan van het accepteren van eventuele schade buiten het restprofiel. Indien wordt voldaan aan de veilige afmetingen uit de geometrische toets dan is de tussenscore 'voldoende' en wordt doorgegaan met stap 5, zo niet dan kan worden verder gegaan naar stap 2.

Stap 1.1: Globale opbouw van het grondlichaam (dijk of dam):

Voor de globale opbouw van de kern van de dijk of dam dient te worden gekozen uit:

- Type 1 kern van klei;
- Type 2 kern van zand.

De globale opbouw van de ondergrond is als volgt: boven op een slecht doorlatend pakket (klei- en veenlagen) met dikte d en daaronder zand. Indien alleen zand aanwezig is dan geldt $d = 0$ m.

Bij twijfel over de samenstelling van het grondlichaam of de ondergrond moeten alle mogelijke combinaties afzonderlijk worden beschouwd.

Stap 1.2: Berm aan de binnenwaartse zijde

Is er aan de binnenwaartse zijde een berm aanwezig? Zo ja, ga naar stap 1.4. Zo nee, ga verder met stap 1.3.

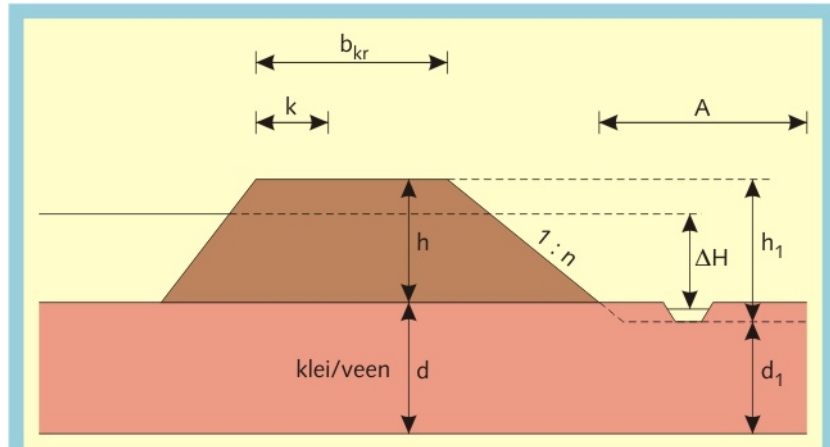
Stap 1.3: Geometrische toetsing voor profiel zonder berm

In Figuur 5 - 4.10 is een profiel zonder berm weergegeven. In deze stap wordt nagegaan of op basis van de geometrie van het grondlichaam kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. Indien er mogelijk sprake kan zijn van een situatie waarbij de klei- en veenlagen in de bodem achter de dijk kunnen opdrijven door hoge waterdrukken in watervoerende lagen in de ondergrond dan heeft dit invloed op de afmetingen van het restprofiel en mag de geometrische toets niet worden gebruikt.

Vaak is de locatie van de binnenteen in de praktijk niet duidelijk vanwege een geleidelijk aflopend binnenbeloop, zie Figuur 5 - 4.11. In dergelijke gevallen mag voor de teen worden uitgegaan van het snijpunt van het verlengde binnentalud en het horizontale maaiveld. In de figuur is dit met gestippelde lijnen aangegeven.

Figuur 5 - 4.10

Geometrische toets Macrostabiliteit binnenwaarts voor profiel zonder berm

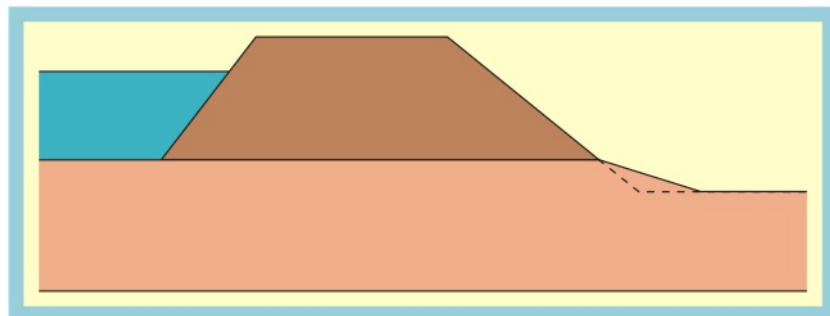


Toelichting symbolen:

- b_{kr} = actuele kruinbreedte [m]
- k = minimaal vereiste kruinbreedte $k = 3\text{m}$ voor rivierdijken en $k = 2\text{m}$ voor zee- en meerdijken [m]
- h = actuele kruinhoogte t.o.v. maaiveld achterland [m]. In geval van een sloot binnen zone A wordt de kruinhoogte t.o.v. een fictief maaiveld bepaald. In de figuur is dit weergegeven met h_1 .
- n = cotangens van de taludhelling van het binnentalud [-]
- ΔH = hoogteverschil tussen Toetspeil + toeslagen en de waterstand achter de kering of het maaiveld achter de kering indien geen sloot binnen zone A aanwezig is [m]
- d = dikte van klei-/veenpakket ter plaatse van achterland [m]. In geval van een sloot binnen zone A wordt de dikte t.o.v. een fictief maaiveld bepaald. In de figuur is dit weergegeven met d_1 .
- A = lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn [m]. Bij de aanwezigheid van een sloot binnen de zone A wordt de dijk geschematiseerd door het binnentalud onder een helling van $1 : n$ door te trekken tot de diepte van de slootbodem en van daar af het maaiveld horizontaal aan te nemen. In de figuur is dit met gestippelde lijnen aangegeven. Voor de bepaling van de lengte A moet in dit geval worden uitgegaan van d_1 en h_1 in plaats van d en h .

Figuur 5 - 4.11

Bepaling theoretische locatie binnenteen



Stap 1.3.1: Opdrukveiligheid van het achterland

Indien wordt voldaan aan het onderstaande criterium dan hoeft geen rekening te worden gehouden met het effect van opdrijven van klei en veenlagen bij hoge waterdrukken in onderliggende watervoerende lagen en kan gebruik worden gemaakt van de geometrische toetsingsregels onder stap 1.3.2. Indien opdrijven niet kan worden uitgesloten dan moet de toetsing worden vervolgd met stap 2.

$$\text{Opdrukveiligheid: } \frac{\sigma_g}{\sigma_w} \geq 1,2$$

waarin:

σ_g	=	waarde van de gronddruk aan de onderzijde van het afdekkend pakket van de slecht doorlatende lagen (klei/veen), bepaald bij een ongunstig (locatie) gekozen bodemopbouw en een ongunstig gekozen waarde voor de volumegewichten van de diverse bodemlagen. Bij het kiezen van de locatie dient de grilligheid van de laagopbouw in het gebied te worden meegenomen, waarbij de nadruk ligt op de dikte van lagen met een laag volumegewicht. De grilligheid van de ondergrond wordt impliciet beschouwd bij het vaststellen van de benodigde intensiteit van het grondonderzoek. Als ongunstige waarde van het volumegewicht geldt de karakteristieke schatting van de laaggemiddelde waarde (het gemiddelde over de hele laag). In Appendix II van het Technisch Rapport Zandmeeverende Wellen [11] of in bijlage 1 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is aangegeven op welke wijze een karakteristieke schatting van een laaggemiddelde waarde kan worden gemaakt. Bij gebrek aan gegevens kan worden uitgegaan van de waarden uit Tabel 1 van NEN 6740 [43]	[kN/m ²]
σ_w	=	opwaartse waterdruk onder het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen. Bij gebrek aan gegevens over de stijghoogte bij Toetspeil + toeslagen kan de opwaartse waterdruk worden bepaald bij een stijghoogte gelijk aan Toetspeil + toeslagen. Dit is een conservatieve aanname. In veel gevallen kan op basis van modelberekeningen of extrapolatie van metingen een lagere waarde van de opwaartse waterdruk worden bepaald, zie stap 3 gedetailleerde toetsing	[kN/m ²]

Stap 1.3.2: Geometrische toetsing zonder opdrijven

Indien opdrijven geen rol speelt rol bij de bepaling van het restprofiel dan gelden de volgende geometrische toetsingsregels:

- Type 1** zeker veilig indien $n \geq 4$ en $A \geq f_a \cdot h$
of indien (bij $n < 4$) $b_{kr} - k \geq f_k \cdot h$ en $A \geq f_a \cdot h$;
- Type 2** zeker veilig indien $n \geq 5$ en $A \geq f_a \cdot h$
of indien (bij $n < 5$) $b_{kr} - k \geq f_k \cdot h$ en $A \geq f_a \cdot h$.

Indien er een sloot aanwezig is moeten h en d bij een fictief maaiveld worden bepaald.

De waarden die voor de factoren f_k en f_a moeten worden gebruikt, kunnen uit Figuur 5 - 4.13 t/m Figuur 5 - 4.15 worden afgelezen. De geometrische kenmerken zijn in Figuur 5 - 4.10 grafisch weergegeven.

Stap 1.4: Geometrische toetsing voor profiel met berm

In Figuur 5 - 4.12 is een profiel met berm weergegeven.

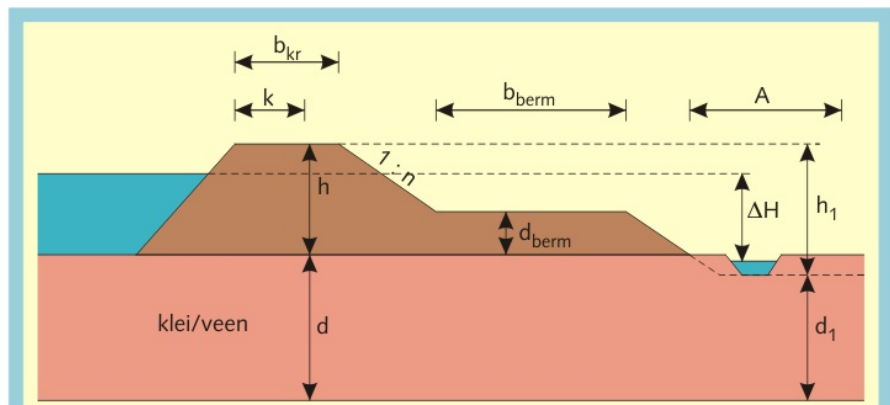
Voor zowel grondlichamen met een kern van klei als voor grondlichamen met een kern van zand geldt dat voldoende restprofiel aanwezig is indien wordt voldaan aan alle hieronder genoemde 4 voorwaarden:

1. het verticale evenwicht van de berm is gewaarborgd. Hiervoor kan worden uitgegaan van het criterium zoals beschreven in stap 1.3.1 waarbij σ_s in dit geval gelijk is aan de gronddruk aan de onderzijde van het afdekkende pakket van slecht doorlatende lagen (klei/veen) onder de berm;
2. $b_{kr} - k \geq f_k \cdot h$ en $b_{berm} \geq f_a \cdot h + d_{berm} \cdot n$;
3. $b_{kr} - k \geq f_k \cdot (h - d_{berm})$ en $b_{berm} \geq f_a \cdot (h - d_{berm})$;
4. $b_{berm} \geq f_k \cdot d_{berm}$ en $A \geq f_a \cdot d_{berm}$.

Indien er een sloot binnen zone A (zie Figuur 5 - 4.12) aanwezig is moeten h , d en d_{berm} bij een fictief maaiveld worden bepaald.

De waarden die voor de factoren f_k en f_a moeten worden gebruikt kunnen uit Figuur 5 - 4.13 t/m Figuur 5 - 4.15 worden afgelezen. De geometrische kenmerken zijn grafisch in figuur 5 - 4.9 weergegeven. Opgemerkt wordt dat voor de factor d/h in de figuren d_1/h_1 moet worden gelezen indien van een fictief maaiveld moet worden uitgegaan.

Figuur 5 - 4.12
Geometrische toets Macrostabiteit binnenwaarts voor profiel met berm

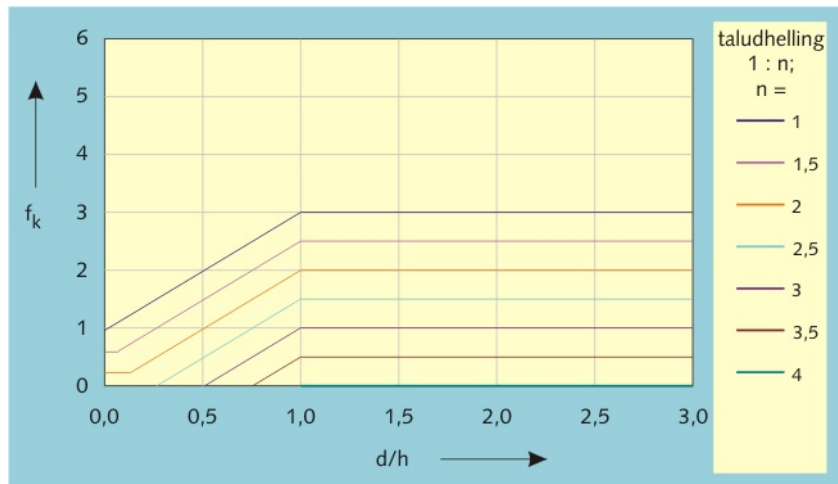


Toelichting symbolen:

- b_{kr} = actuele kruinbreedte [m]
- k = minimaal vereiste kruinbreedte $k = 3\text{m}$ voor rivierdijken en $k = 2\text{m}$ voor zee- en meerdijken [m]
- h = actuele kruinhoogte t.o.v. maaiveld achterland [m]. In geval van een sloot binnen zone A wordt de kruinhoogte t.o.v. een fictief maaiveld bepaald. In de figuur is dit weergegeven met h_1 .
- n = cotangens van de taludhelling van het binnentalud [-].
- ΔH = hoogteverschil tussen Toetspeil + toelagen en de waterstand achter de waterkering of het maaiveld achter de waterkering indien geen sloot binnen zone A aanwezig is [m].
- d = dikte van klei-/veenpakket ter plaatse van achterland [m]. In geval van een sloot binnen zone A wordt de dikte t.o.v. een fictief maaiveld bepaald. In de figuur is dit weergegeven met d_1 .
- d_{berm} = dikte berm gerekend t.o.v. het werkelijke maaiveld of het fictief maaiveld indien er een sloot binnen zone A aanwezig is [m].
- b_{berm} = breedte berm [m]
- A = lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn [m]. Bij de aanwezigheid van een sloot binnen zone A wordt de dijk geschematiseerd door het talud van de berm onder een helling van $1 : n$ door te trekken tot de diepte van de slootbodem en van daar af het maaiveld horizontaal aan te nemen. In de figuur is dit met gestippelde lijnen aangegeven.

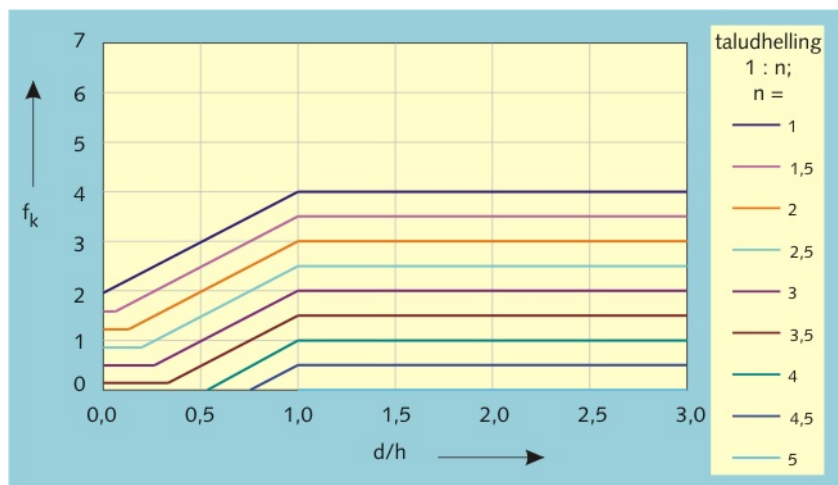
Figuur 5 - 4.13

Grafiek f_k versus d/h (of d_i/h_i) voor een grondlichaam met kern van klei (type 1)



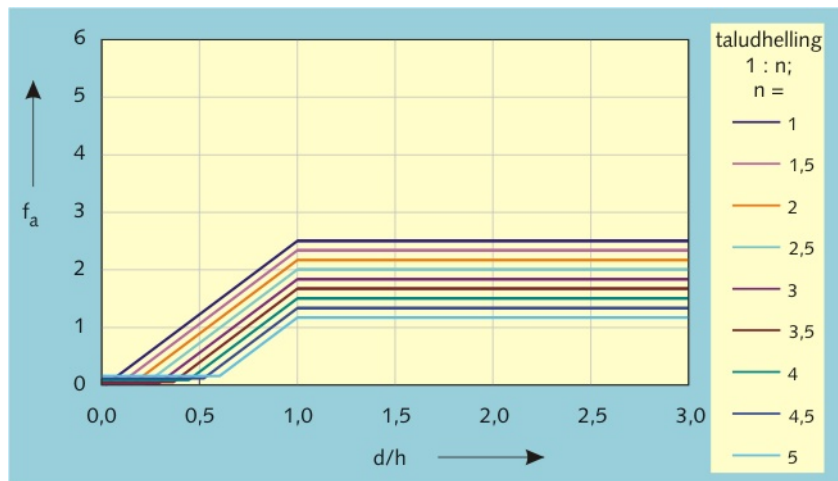
Figuur 5 - 4.14

Grafiek f_k versus d/h (of d_i/h_i) voor een grondlichaam met kern van zand (type 2)



Figuur 5 - 4.15

Grafiek f_a versus d/h (of d_i/h_i)



Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Vele bestaande dijken zijn ontworpen vóór het gereedkomen van de TAW-ontwerpleidraden. Deze ontwerpen zijn niet gebaseerd op algemeen erkende grondslagen, waardoor de kwaliteit van het ontwerp kan variëren tussen geavanceerd en ambachtelijk. Met name de grondmechanische gegevens waarop het ontwerp werd gebaseerd en de wijze waarop met die gegevens werd omgegaan, verschilde sterk. Bovendien is het inzicht in de problematiek tussen het moment waarop de eerste dijken na 1953 werden versterkt en het moment van het verschijnen van de ontwerpleidraden gegroeid. Zo was het aanvankelijk niet gebruikelijk de stabiliteit bij Toetspeil + toeslagen goed te analyseren, maar lag het accent meer op de beoordeling van de stabiliteit tijdens uitvoering.

Als ontworpen is volgens de ontwerpleidraden, de Handreiking Constructief Ontwerpen of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies moet nog worden gecontroleerd of geometrie en/of randvoorwaarden in ongunstige zin gewijzigd zijn t.o.v. het ontwerp. Vooral van belang zijn de geometrie van de dijk en het maaiveld en de hoogte van het freatisch vlak in de dijk.

Indien een oud adviesrapport aanwezig is met een uitspraak over de veiligheid onder maatgevende omstandigheden is een kritische analyse van dit rapport noodzakelijk. Nagegaan moet worden of de aanpak die ten grondslag ligt aan het rapport voldoende in overeenstemming is met die uit vigerende ontwerpleidraden. Kenmerken voor voldoende overeenstemming zijn:

- er was een voldoende intensief grondonderzoek uitgevoerd;
- er bestond voldoende inzicht in het verloop van waterspanningen en potentialen onder dagelijkse en maatgevende omstandigheden;
- er was rekening gehouden met het fenomeen opdrijven in situaties met hoge artesische waterdrukken;
- indien niet werd gewerkt met karakteristieke sterkteparameters maar met gemiddelde waarden, moet de keuze voor de sterkteparameters onderbouwd zijn geweest;
- er werd rekening gehouden met bereikbaarheid van de dijk bij dreigende calamiteiten.

Indien werd gewerkt met gemiddelde in plaats van met karakteristieke sterkteparameters, dient de overall-veiligheidsfactor te voldoen aan de volgende waarden voor de binnenwaartse stabiliteit:

- bij gebruik van sterkteparameters op basis van celproeven: 1,4;
- bij gebruik van sterkteparameters op basis van triaxiaalproeven: 1,6.

Indien risico's als gevolg van grote vervormingen in ogenschouw zijn genomen en parameters op statistisch/probabilistische wijze zijn onderbouwd, mag een lagere veiligheidsfactor worden aangehouden:

- bij gebruik van sterkteparameters op basis van celproeven: 1,3 à 1,4;
- bij gebruik van sterkteparameters op basis van triaxiaalproeven: 1,5 à 1,6.

De beoordeling van het oude rapport dient door deskundigen te worden verricht. Indien de conclusie luidt dat de gevolgde ontwerpmethodiek gelijkwaardig is aan de methodiek volgens de ontwerpleidraden dan is de tussenscore 'goed' en wordt doorgegaan met stap 5. Als andere (dus niet met de ontwerpleidraden corresponderende) of geen ontwerpregels zijn gebruikt, wordt verder beoordeeld met stap 3.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Macrostabiliteit binnenwaarts

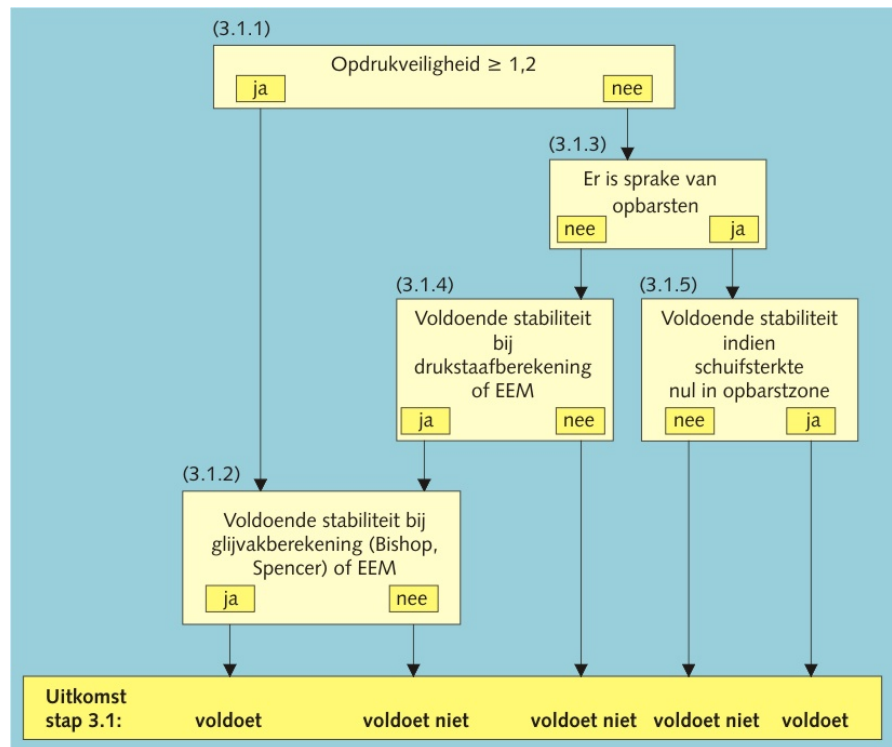
Zoals opgemerkt in § 4.2.1 is het uitgangspunt voor een gedetailleerde toetsing dat er een zogenaamd geotechnisch lengteprofiel beschikbaar is of wordt opgesteld. Bij voorkeur wordt dit lengteprofiel getekend voor de bodemopbouw onder, voor en achter de dijk. Voor macrostabiliteit is vooral het lengteprofiel onder de kruin van de dijk en ter plaatse van het achterland van belang. Op basis van deze lengteprofielen kan inzicht worden verkregen in de dijk- en bodemopbouw.

De gedetailleerde toetsing kan bestaan uit (een combinatie van):

- 3.1 : modelmatige verfijning (conform vigerende technische rapporten);
- 3.2 : gegevensverzameling.

In het beoordelingsschema (zie Figuur 5 - 4.5) zijn deze verschillende vormen van gedetailleerd toetsen parallel in een blok weergegeven. Hiermee is aangegeven dat afhankelijk van de situatie en beschikbaarheid van gegevens kan worden gekozen voor modelmatige verfijning, of gegevensverzameling of een combinatie van beiden. Bij een gunstig resultaat van de gedetailleerde toetsing volgens Figuur 5 - 4.16 kan een tussenscore 'goed' worden aangehouden en dient verder te worden gegaan met stap 5. Bij een ongunstig resultaat wordt verder gegaan met stap 4.

Figuur 5 - 4.16
 Rekenschema Macrostabiliteit binnenwaarts
 stap 3: Gedetailleerde toetsing



Stap 3.1: Modelmatige verfijning

In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies is een schema opgenomen voor het uitvoeren van stabiliteitsberekeningen. De inhoud van dit schema is in Figuur 5 - 4.16 weergegeven.

Hieronder zal op de verschillende rekenstappen uit Figuur 5 - 4.16 worden ingegaan. De insteek is dat de rekenstappen kunnen worden doorlopen zonder en met aanvullende gegevensverzameling.

Stap 3.1.1: Opdrukveiligheid

In die gevallen waar ter plaatse van het achterland een relatief slecht doorlatend pakket aanwezig is boven een watervoerende zandige laag dient te worden nagegaan of er een potentieel gevaar bestaat voor opdrukken van dit slecht doorlatende pakket. Er moet in de stabiliteitanalyse rekening worden gehouden met opdrukken indien de opdrukveiligheid kleiner is dan 1,2.

Bij een opdrukveiligheid kleiner dan 1,2 kan onderscheid worden gemaakt in twee mechanismen:

- het opdrijven van het gehele afdekkende pakket. In dit geval zal de samenhang van de grond in het afdekkende pakket intact blijven maar zal de schuifweerstand in het contactvlak tussen afdekkende laag en onderliggende zandlaag aanzienlijk worden gereduceerd;
- het opbarsten van het afdekkende pakket waarbij grondbreuk optreedt. In dit geval zal de grond (lokaal) haar samenhang verliezen waardoor de sterkte van de grond afneemt.

Op basis van modelberekeningen kan de stijghoogte en daarmee de opwaartse waterdruk meer in detail worden bepaald, zoals beschreven in het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [29].

Indien voldoende opdrukveiligheid aanwezig is dan dient te worden verder gegaan met stap 3.1.2, zo niet dan kan worden verder gegaan met stap 3.1.3.

Stap 3.1.2: Stabiliteitanalyse zonder opdrijven

Indien de opdrukveiligheid groter is dan 1,2 hoeft geen rekening te worden gehouden met sterktereductie in het passieve deel van het glijvlak en kunnen de gangbare glijvlakberekeningen worden toegepast. In de meeste gevallen zal een glijvlakberekening op basis van cirkelvormige glijvlakken (methode Bishop) volstaan. Er zijn echter ook situaties denkbaar waarbij het afschuiven langs een cirkelvormig glijvlak niet maatgevend is voor de macrostabiliteit van de dijk. Hierbij moet worden gedacht aan in de ondergrond aanwezige zeer slappe lagen met beperkte dikte of aan de invloed van sterkte anisotropie van veenlagen. In dergelijke gevallen wordt aangeraden om de stabiliteit ook op basis van niet-cirkelvormige glijvlakken te toetsen (bijvoorbeeld de methode Spencer). Ook kan de stabiliteit op basis van een eindige elementenmethode (EEM) worden getoetst. Bij het gebruik van een eindige elementenmethode wordt de vorm van het glijvlak niet als randvoorwaarde aan de berekening opgelegd. Voor nadere achtergronden met betrekking tot glijvlakberekeningen wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16].

Voor het berekenen van de stabiliteitsfactor dienen naast de laagopbouw de volgende parameters te worden ingevoerd:

- waterspanningen: Indien geen gegevens beschikbaar zijn betreffende waterspanningen kan worden uitgegaan van de veilige schattingen van waterspanningen zoals weergegeven in het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [29]. Op basis van metingen kan een beter beeld worden verkregen van het actuele waterspanningsbeeld en kan een grondwaterstromingsmodel worden geïkt voor het vaststellen van de waterspanningen bij Toetspeil + toeslagen, zie stap 3.2.2;
- materiaaleigenschappen: Voor glijvlakberekeningen dient te worden uitgegaan van rekenwaarden voor de materiaaleigenschappen. In de ontwerpleidraden en in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is aangegeven hoe de rekenwaarden van de materiaaleigenschappen voor waterkeringen dienen te worden bepaald. Voor de schuifsterkte geldt dat de rekenwaarden worden

verkregen door de karakteristieke waarden te delen door de materiaalfactoren uit Bijlage 5- 1. In stap 3.2.3 is aangegeven op welke wijze karakteristieke schuifsterkteparameters kunnen worden bepaald. Indien geen karakteristieke waarden van materiaalparameters beschikbaar zijn kan gebruik gemaakt worden van de representatieve waarden uit tabel 1 in de NEN 6740 [43]. Opgemerkt moet worden dat het gebruik van tabelwaarden uit NEN 6740 alleen is toegestaan onder de voorwaarden die in NEN 6740 zijn opgenomen. Voor het bepalen van de rekenwaarden moeten de representatieve sterkteparameters gedeeld worden door de materiaalfactor zoals gegeven in tabel 3 in de NEN 6740.

De berekende stabiliteitsfactoren worden getoetst aan het product van een schadefactor en een modelfactor. In Bijlage 5- 1 staan de schade- en modelfactoren die gehanteerd moeten worden. Er bestaat een mogelijkheid om de schadefactor te differentiëren afhankelijk van de ligging van de glijcirkel. In Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48] wordt een zoneringsmethode beschreven waarbij rekening wordt gehouden met de invloed die een hoge buitenwaterstand (lees Toetspeil + toeslagen) heeft op de kans van bezwijken van het dijklichaam, en waarmee wordt bepaald of het bezwijken van een gedeelte van de dijk al dan niet invloed heeft op het waterkerend vermogen van de dijk. Ook wordt de bereikbaarheid van de dijk meegenomen. In de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] is een methode beschreven voor het differentiëren van de schadefactor in geval van het ontwerpen van dijken. Voor het differentiëren van de schadefactor moet de methode uit [18] gebruikt worden. Deze methode is ook opgenomen in het Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken [48] en is geïmplementeerd in het rekenmodel MSTAB.

Bij een positief resultaat van de stabiliteitsberekening is de uitkomst van stap 3.1 'voldoet' en bij een negatief resultaat is de uitkomst van stap 3.1 'voldoet niet'.

Stap 3.1.3: Opbarsten

Ten tijde van het schrijven van dit Voorschrift bestaan er geen harde criteria op basis waarvan kan worden gesteld onder welke omstandigheden er sprake is van een opbarstsituatie. In het algemeen wordt verondersteld dat opbarsten veelal betrekking heeft op een lokaal verschijnsel, bijvoorbeeld het opbarsten van een slootbodem. Indien de opdrukveiligheid kleiner is dan 1,0 dient altijd rekening te worden gehouden met opbarsten. Indien er sprake kan zijn van opbarsten dan dient te worden verder gegaan met stap 3.1.5 zo niet dan verder gaan met stap 3.1.4.

Stap 3.1.4: Stabiliteitanalyse in geval van opdrijven

In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is aangegeven welke methodes kunnen worden toegepast om het mechanisme opdrijven in een stabiliteitanalyse te betrekken. De meest gangbare methode gaat uit van het 'drukstaafprincipe' waarbij de drijvende afdekkende laag zich als een drukstaaf gedraagt. Er zijn in de loop van de tijd verschillende modellen ontwikkeld die zijn gebaseerd op dit drukstaafprincipe. De methode Van is een voorbeeld van een dergelijke methode. Een ander voorbeeld is te vinden in appendix D van de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 [4]. In bijlage 2 van de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] is aangegeven hoe de methode Spencer gebruikt kan worden in geval van opdrijven. De genoemde methodes gaan uit van een opgelegde vorm van het glijvlak. Indien met de drukstaafmethode de vereiste stabiliteitsfactor wordt gehaald, dient de stabiliteit in de drukstaaf zelf te worden gecontroleerd volgens stap 3.1.2. Indien de stabiliteitsfactor in geval van opdrijven kleiner is dan de vereiste waarde dan is de uitkomst van stap 3.1 'voldoet niet'.

In geval van een eindige-elementenmethode wordt de vorm van het glijvlak niet van tevoren opgelegd. Bij een dergelijke rekenmethode kan, naast de stabiliteitsfactor, ook een indicatie worden verkregen van de vervorming van het dijklichaam onder maatgevende belasting. Een afzonderlijke controle van glijvlakken in de drukstaaf is in dit geval niet nodig zodat stap 3.1.2 kan worden overgeslagen.

Stap 3.1.5: Stabiliteitanalyse in geval van opbarsten

In geval van opbarsten kan een veilige doch conservatieve benadering worden gevolgd waarbij de schuifsterkte in de opbarstzone tot nul wordt gereduceerd. In de opbarstzone wordt dan alleen rekening gehouden met het eigen gewicht van de grond. Indien de stabiliteit onder deze aanname onvoldoende is gegarandeerd kan een geavanceerde stabiliteitanalyse worden uitgevoerd waarin specialistische kennis over het mechanisme opbarsten wordt ingebracht, zie stap 4.

Stap 3.2: Gegevensverzameling

Voor een gedetailleerde toets op basis van gegevensverzameling kan worden gedacht aan:

- het nader vaststellen van de laagopbouw van het achterland (stap 3.2.1);
- het bepalen van de waterspanningen in de dijk en de ondergrond (stap 3.2.2);
- het bepalen van de karakteristieke waarde van de schuifsterkte (stap 3.2.3).

Op basis van bovengenoemde gegevens kan opnieuw een eenvoudige toetsing worden uitgevoerd of kunnen de rekenregels zoals vermeld onder stap 3.1 (modelmatige verfijning) worden toegepast.

Stap 3.2.1: Laagopbouw achterland

De bodemopbouw ter plaatse van het achterland speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de opdrukveiligheid en de stabiliteitanalyse. In alle gevallen is het opsporen en nader uitkarteren van slappe lagen van belang voor het afbakenen van secties met een mogelijk macrostabiliteitprobleem. Indien opdrijven een rol kan spelen is het zinvol ter plaatse van oprijfgevoelige secties de dikte en het volumegewicht van de afdekkende laag op basis van terrein- en laboratoriumonderzoek nader te onderzoeken.

Stap 3.2.2: Waterspanningen in de dijk en de ondergrond

Het meten van de stijghoogte op diverse diepten en locaties in het dwarsprofiel van de dijk verschaft inzicht over de actuele waterspanningsopbouw. Bij dergelijke metingen is het van groot belang onder welke omstandigheden is gemeten (seizoen, buitenwaterstanden, polderpeilen). Op basis van responsmetingen bij sterke fluctuaties van de buitenwaterstand kan het rekenmodel voor grondwaterstroming worden geïjkt en kunnen modelonzekerheden verder worden teruggebracht. Voor dergelijke methodes wordt verwezen naar het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [29] of Bijlage 2 van de Handreiking Constructief Ontwerpen [7].

Stap 3.2.3: Karakteristieke waarde schuifsterkte

In bijlage 1 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is aangegeven op welke wijze karakteristieke schuifsterkteparameters kunnen worden bepaald uit een lokale of regionale verzameling van sterkteproeven. Een lokale proevenverzameling heeft betrekking op een gebiedsgrootte waarbinnen regionale variaties (bijna) geen rol spelen. Hierbij kan gedacht worden aan gebieden niet groter dan 100 tot 150 meter in lengterichting van de waterkering en een zelfde afmeting in dwarsrichting van de waterkering.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Macrostabieliteit binnenwaarts

Indien in de gedetailleerde toetsing geen score ‘goed’ kan worden bereikt, kan een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd. Voor macrostabieliteit binnenwaarts bestaan verschillende methodes die, afhankelijk van de situatie, een scherpere beoordeling mogelijk maken. Geavanceerde toetsing kan bij een gunstig resultaat tot een tussenscore ‘goed’ of ‘voldoende’ leiden. Of de tussenscore ‘goed’ dan wel ‘voldoende’ is, is ter beoordeling van de specialist. Er zijn echter ook situaties waarin geavanceerde toetsing niet zinnig is omdat de kans verwaarloosbaar is dat geavanceerde toetsing tot een score ‘goed’ of ‘voldoende’ leidt. Het is daarom verstandig om als eerste stap van een geavanceerde toetsing na te gaan of geavanceerde toetsing zin heeft en welke methodes in aanmerking komen. Ook voor deze eerste stap is specialistische kennis nodig.

Afhankelijk van de situatie komen de volgende methodes in aanmerking voor de geavanceerde toetsing op macrostabieliteit binnenwaarts:

- gebruik van geavanceerde materiaalmodellen (vooral bij EEM-berekeningen) waarmee de werkelijke sterkte beter kan worden benaderd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het in rekening brengen van de afhankelijkheid van sterkte, vervorming en opbouw van waterspanningen tijdens vervormen (ongedraineerd gedrag etc.). Opgemerkt wordt dat aan het gebruik van dergelijke modellen een zorgvuldige, op proeven gebaseerde, parameteranalyse vooraf dient te gaan;
- het beoordelen van de macrostabieliteit op basis van bewezen sterkte. Hiervoor zal in het op stapel staande Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48] een methode worden aangereikt;
- het nauwkeuriger voorspellen van het freatisch vlak in de waterkering. Dit kan vooral zinvol zijn voor dijken met een relatief kortdurend hoogwater;
- het beter voorspellen van de stijghoogte in watervoerende lagen in geval van opdrijf- of opbarstgevoelige situaties. Hierbij kan worden gedacht aan niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de duur van hoogwater relatief kort is (getijdengebied) of ruimtelijke grondwaterstromingsmodellen (driedimensionaal of quasi-driedimensionaal) voor situaties waarbij de geometrie of laagopbouw niet uniform is in de richting van de waterkering of loodrecht op de waterkering;
- het uitvoeren van een probabilistische stabiliteitanalyse.

Stap 5: Gedrag Macrostabieliteit binnenwaarts

Nagegaan moet worden of de waarnemingen in de praktijk met betrekking tot het gedrag van de waterkering niet strijdig zijn met de uitkomst van de stabiliteitanalyse, bijvoorbeeld doordat bijzondere vervormingen of scheuren optreden, die zouden kunnen wijzen op een in de ontwerpfase niet voorzien gedrag. Als de praktijk twijfel doet rijzen is het oordeel ‘onvoldoende’ of dient te worden teruggedaan naar de stabiliteitsberekening (stap 2, 3 of 4) om voor de specifieke situatie aan te tonen dat de waarnemingen geen gevaar inhouden voor de veiligheid. Indien het gedrag van de waterkering geen aanleiding is om de tussenscore van de beoordelingsstappen 2, 3 of 4 te herzien dan geldt dat de tussenscore uit de voorgaande stap mag worden overgenomen als eindscore. Deze stap dient door of samen met de beheerder of toezichthouder van de waterkering te worden uitgevoerd.

4.2.4 Macrostabieliteit buitenwaarts STBU

De beoordeling op Macrostabieliteit buitenwaarts volgt het algemene schema in Figuur 5 - 4.5.

Stabiliteitsverlies van het voorland door afschuiving of zettingsvloeiing in de directe omgeving van de dijk wordt ook (net als Macrostabieleit buitenwaarts) als een bedreiging voor de veiligheid gezien, maar is een ander mechanisme en heeft een apart beoordelingsspoor (het spoor Voorland STVL). De beoordeling hiervan wordt behandeld in Katern 9.

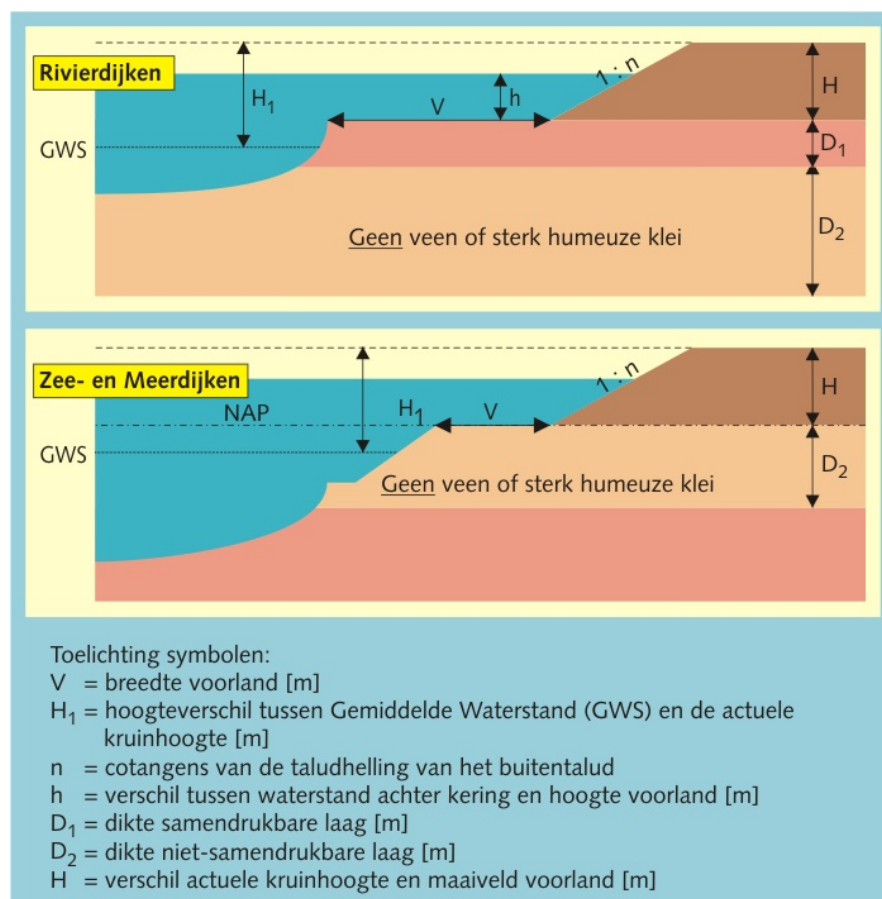
Zelfs bij een voldoende stabiel voorland kan de macrostabieleit van het buitentalud in gevaar komen in geval van een snelle val van de buitenwaterstand en een relatief hoog freatisch vlak in de dijk of dam.

Hieronder volgt een toelichting per stap gericht op toepassing voor het spoor Macrostabieleit buitenwaarts.

Stap 1: Eenvoudige toetsing Macrostabieleit buitenwaarts

Op basis van geometrische kenmerken kan worden getoetst indien de waterkering minimaal vijf jaar in huidige vorm functioneert. In Figuur 5 - 4.17 is de geometrische toets voor rivierdijken en voor zee- en meerdijken weergegeven.

Figuur 5 - 4.17
Geometrische toets Macrostabieleit buitenwaarts



Aan de volgende twee voorwaarden moet in alle gevallen worden voldaan:

- $V \geq 1,5 \cdot H_1$;
- $V \geq M_{rek}$

M_{rek} in de onderste voorwaarde is de rekenwaarde voor de marge die gebruikt wordt bij de toetsing op Stabiliteit van het voorland (zie Bijlage 9 - 2 en Bijlage 9 - 4 bij Katern 9). Voor deze parameter geldt de volgende uitdrukking:

$$M_{rek} = 2 \cdot H_{vw} + 1,5 \cdot (H - H_{vw})$$

waarin:

H	=	geuldiepte	[m]
H_{vw}	=	dikte van de verwekingsgevoelige laag	[m]

Naast deze twee algemene voorwaarden gelden specifieke voorwaarden voor bovenrivierdijken, benedenrivierdijken en zee- en meerdijken.

Voor bovenrivierdijken moet tevens aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- $n \geq 2,5$;
- $h + D_1 \leq 6$ [m];
- $D_2 \geq H + D_1$.

Voor benedenrivierdijken moet tevens aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- $n \geq 3$;
- $h + D_1 \leq 5$ [m];
- $D_2 \geq H + D_1$.

Voor zee- en meerdijken moet tevens aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- $n \geq 3$;
- $D_2 \geq H$.

Indien de waterkering voldoet aan alle toepasselijke voorwaarden (dus de twee algemene voorwaarden én de specifieke voorwaarden), dan is de tussenscore 'voldoende' en kan de toetsing worden voortgezet met stap 5. Indien de waterkering niet aan alle toepasselijke voorwaarden voldoet, wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Deze stap loopt analoog aan de toetsing op Macrostabiteit binnenwaarts in § 4.2.3 met twee uitzonderingen:

- de mechanismen opdrijven en opbarsten spelen bij buitenwaartse stabiliteit echter geen rol;
- indien werd gewerkt met gemiddelde in plaats van met karakteristieke sterkteparameters, dient de overall-veiligheidsfactor te voldoen aan de volgende waarden voor de buitenwaartse stabiliteit:
 - bij gebruik van sterkteparameters op basis van celproeven: 1,2;
 - bij gebruik van sterkteparameters op basis van triaxiaalproeven: 1,4.

Bij het beschouwen van de macrostabiteit buitenwaarts worden geen risico's als gevolg van grote vervormingen in ogenschouw genomen en mag dus geen lagere veiligheidsfactor worden aangehouden, ook niet als parameters statistisch/probabilistisch zijn onderbouwd.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Macrostabieleit buitenwaarts

Deze stap loopt analoog aan de toetsing op binnenwaartse macrostabieleit in § 4.2.3. De aan te houden schade-, materiaal en modelfactoren voor macrostabieleit buitenwaarts staan in Bijlage 5- 1. De mechanismen opdrijven en opbarsten spelen bij buitenwaartse stabieleit echter geen rol. Overwogen kan worden om eerst stil te staan bij de aspecten zoals genoemd onder stap 4 alvorens een stabieleitsberekening uit te voeren.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Macrostabieleit buitenwaarts

Indien in de gedetailleerde toetsing geen score 'goed' kan worden bereikt, kan een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd. Of het mechanisme macro-instabieleit van het buintentalud een rol speelt in de veiligheid van de waterkering is afhankelijk van de volgende drie factoren:

- de kans op afschuiving na een snelle val;
- de kans op een (te) hoog water binnen een periode daarna waarin herstel onvoldoende mogelijk is;
- de kans dat daardoor werkelijk overstroming optreedt.

In een geavanceerde toetsing kan nader op boven genoemde aspecten worden ingegaan. Verdere aanknopingspunten voor geavanceerde toetsing kunnen worden gevonden in § 4.2.3 (beoordeling Macrostabieleit binnenwaarts).

Stap 5: Gedrag Macrostabieleit buitenwaarts

Deze stap loopt analoog aan de toetsing op Macrostabieleit binnenwaarts in § 4.2.3.

4.2.5 Microstabieleit STMI

De beoordeling op Microstabieleit volgt het algemene schema in Figuur 5 - 4.5. Hieronder volgt een toelichting per stap gericht op toepassing voor het spoor Microstabieleit.

Stap 1: Eenvoudige toetsing Microstabieleit

Een dijk krijgt voor het spoor Microstabieleit de eindscore 'goed' als aan één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

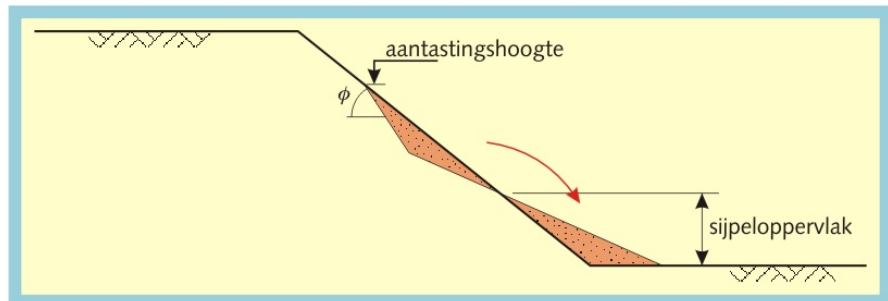
- de binnenteen van de dijk wordt in voldoende mate gedraineerd. Dit kan doordat de ondergrond uit voldoende waterdoorlatend materiaal bestaat en op natuurlijke wijze kan afwateren (kwelsloot) of omdat een goed functionerende drainageconstructie aanwezig is;
- de dijk heeft een slecht doorlatende kleikern waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger is dan Toetspeil + toeslagen en de basis aansluit op een slecht doorlatende ondergrond. In dit geval zal er geen water uit het binnentalud stromen, noch zal opdrukken van de toplaag kunnen optreden;
- het gehele dijklichaam binnenwaarts van de binnenkruinlijn bestaat volledig uit slecht doorlatend materiaal;
- de dijk is zandig en heeft een zandig binnentalud met een helling flauwer dan 1V:5H. Met zandig binnentalud wordt bedoeld een binnentalud met ongeveer gelijke doorlatendheid als de kern van de dijk. Een kleibekleding ontbreekt in dit geval.

Indien niet wordt voldaan aan één van bovengenoemde voorwaarden dan kan worden uitgegaan van een restprofielbenadering. In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is een handreiking gedaan voor het bepalen van een schadeprofiel indien uitspoeling op een (bovenwater-)talud optreedt. Een globale schatting van het schadeprofiel kan worden gemaakt onder de volgende aannamen:

- het materiaal kan niet hoger dan het sijpeloppervlak uitspoelen;
- het weggespoelde materiaal wordt afgezet onder een evenwichtshelling van ca. 1V:5H;
- het hoger gelegen materiaal kan bijzakken onder een helling van het natuurlijk talud; hierbij is een volume-evenwicht noodzakelijk.

Figuur 5 - 4.18

Schadeprofiel bij uitspoelen van dijkmateriaal



Om na te gaan of het schadeprofiel acceptabel is vanuit oogpunt van veiligheid dient het schadeprofiel te worden getoetst op de sporen Stabiliteit van bekledingen, Piping en heave en Macrostabieleit binnenwaarts. Als het talud met schadeprofiel op die sporen een score 'goed' of 'voldoende' krijgt, is de tussenscore voor het beoordelingsspoor Microstabieleit 'voldoende' en kan de toetsing worden voortgezet met stap 5. Wordt aan geen van bovengenoemde voorwaarden voldaan en is een schadeprofiel niet acceptabel dan wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Als het profiel niet zonder meer als veilig kan worden beschouwd moet de wijze van ontwerpen worden nagegaan. Als ontworpen is volgens de ontwerpkeidraden voor Boven- en Benedenrivieren [2], [4], de Leidraad Zee- en Meerdijken [13] of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] en de uitgangspunten en randvoorwaarden zijn niet ongunstiger geworden t.o.v. het ontwerp, dan is de tussenscore 'goed' indien niet is uitgegaan van een schadeprofiel en wordt doorggegaan met stap 5. Indien is ontworpen volgens voornoemde ontwerpkeidraden uitgaande van een schadeprofiel dan is de tussenscore 'voldoende' en wordt eveneens verder gegaan met stap 5. In de overige gevallen wordt de toetsing vervolgd met stap 3.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Microstabieleit

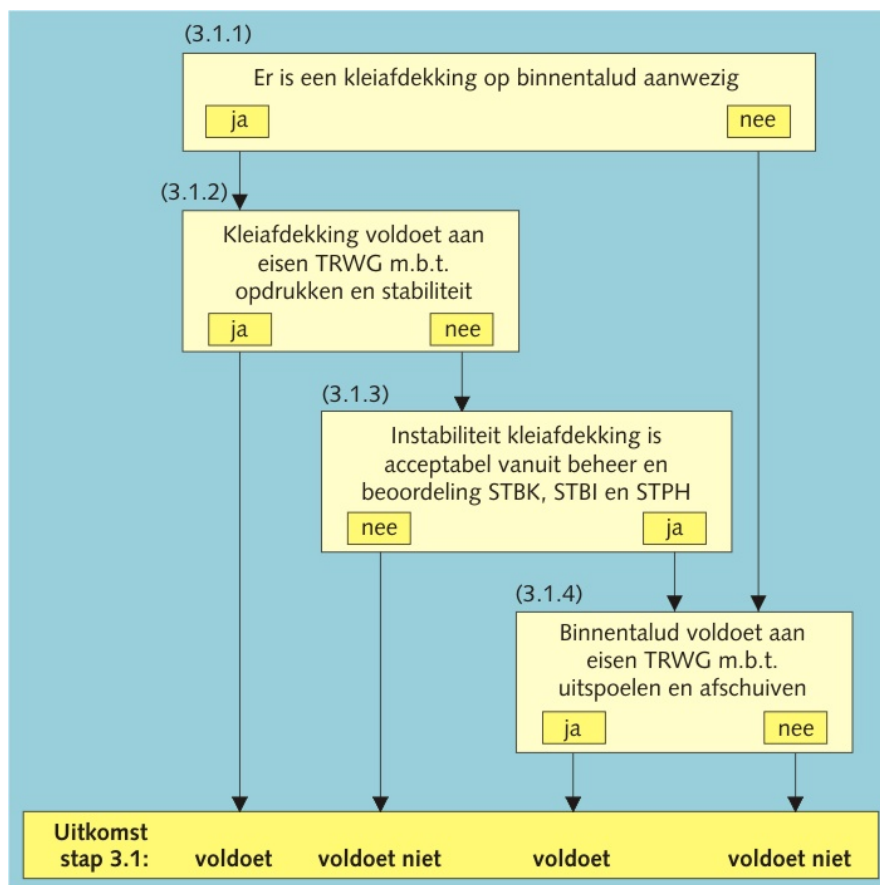
De gedetailleerde toetsing kan bestaan uit (een combinatie van):

- 3.1 : modelmatige verfijning (conform vigerende technische rapporten);
- 3.2 : gegevensverzameling.

In het beoordelingsschema (zie Figuur 5 - 4.5) zijn deze verschillende vormen van gedetailleerd toetsen parallel in een blok weergegeven. Hiermee is aangegeven dat afhankelijk van de situatie en beschikbaarheid van gegevens voor modelmatige verfijning of gegevensverzameling of combinaties hiervan kan worden gekozen.

Bij een gunstig resultaat van de gedetailleerde toetsing volgens Figuur 5 - 4.19 kan een tussenscore 'goed' worden aangehouden en dient verder te worden gegaan met stap 5. Bij een ongunstig resultaat wordt verder gegaan met stap 4.

Figuur 5 - 4.19
 Rekenschema Microstabiliteit stap 3.1:
 Gedetailleerde toetsing



Stap 3.1: Modelmatige verfijning

Op basis van een grondwaterstromingsberekening of meetervaring kan worden nagegaan welke grondwaterstand en stromingsrichting is te verwachten bij maatgevende omstandigheden. Opgemerkt wordt dat dergelijke berekeningen zeer gevoelig zijn voor de schematisering van bodemlagen en te kiezen modelrandvoorwaarden. Onzekerheden dienen hierbij door veilige schematisering te worden afgedekt.

In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] zijn rekenregels gegeven voor het beoordelen van de microstabiliteit, zie het overzicht in Figuur 5 - 4.19. Ingegaan wordt op de opdrukstabiliteit van de kleibekleding en de weerstand tegen uitspoeling van materiaal bij uiteenlopende grondwaterstromingsrichtingen.

Voor de stappen 3.1.2 en 3.1.3 van Figuur 5 - 4.19 kan gebruik worden gemaakt van de rekenregels uit het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. In stap 3.1.3 kan onderscheid worden gemaakt in binnentaluds boven water (dijken) en taluds onderwater (dammen). Dit onderscheid komt terug in de rekenregels voor uittredend grondwater, zie Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.

Stap 3.2 Gegevensverzameling

Gedacht kan worden aan:

- onderzoeken van de drainage capaciteit van de binnenteen/berm. Hierbij kan worden gedacht aan grondonderzoek of het inventariseren van informatie over drainagevoorzieningen en de functionaliteit daarvan;

- gegevens verzamelen over dijkopbouw. Vooral de wijze van dijkversterking in het verleden kan gevolgen hebben voor de ligging van het freatisch vlak;
- meten van de grondwaterstand in de dijk en visuele inspectie op drassigheid van binnenteen/-talud bij hoge buitenwaterstanden;
- bepalen van parameters voor grondwaterstromingsberekeningen door middel van grondonderzoek;
- bepalen van gewicht- en sterkteparameters voor het toetsen met rekenregels voor uitspoeling van grond.

Op basis van bovengenoemde gegevens kan opnieuw een eenvoudige toetsing worden uitgevoerd of kunnen rekenregels zoals vermeld onder stap 3.1 (modelmatige verfijning) worden toegepast.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Microstabiliteit

Indien de gedetailleerde toetsing niet de uitkomst 'voldoet' oplevert, kan een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd. Geavanceerde toetsing kan bij een gunstig resultaat tot een tussenscore 'goed' of 'voldoende' leiden. Of de tussenscore 'goed' dan wel 'voldoende' is, is ter beoordeling van de specialist. Het is verstandig om voorafgaand aan een geavanceerde toetsing na te gaan of geavanceerde toetsing zin heeft en welke methodes in aanmerking komen. Hiervoor is specialistische kennis nodig.

Gedacht kan worden aan:

- nauwkeuriger mechanismebeschrijving. Hierbij kan worden gedacht aan het beter vaststellen van het punt van initieel bezwijken of het vervolgmecanisme na initieel bezwijken;
- geavanceerder rekenmodel, bijvoorbeeld een berekening op basis van een eindig-elementenmethode;
- geavanceerde niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen.

Stap 5: Gedrag Microstabiliteit

In deze stap wordt nagegaan of bij hoge buitenwaterstanden of bij hevige neerslag symptomen zijn waargenomen die kunnen duiden op (het begin van) micro-instabiliteit. Hierbij kan worden gedacht aan natte plekken op het binnentalud, uitspoeling van zand op het binnentalud, opgebarsten of afgeschoven kleibekleding, ernstige verweking van het binnentalud. Indien het gedrag van de waterkering geen aanleiding is om de tussenscore van de beoordelingsstappen 2, 3 of 4 te herzien dan geldt dat de tussenscore uit de voorgaande stap mag worden overgenomen als eindscore. Deze stap dient door of samen met de beheerder of toezichthouder van de waterkering te worden uitgevoerd.

Net als bij de andere geotechnische beoordelingssporen geldt, dat een constatering van ongunstig gedrag niet direct zal leiden tot een score 'onvoldoende', maar aanleiding zal zijn voor nadere beoordeling van de situatie aan de hand van de gedetailleerde of geavanceerde regels.

4.2.6 Bekledingen STBK

De beoordeling van bekledingen wordt apart behandeld in Katern 8.

4.2.7 Voorland STVL

De beoordeling van het voorland op de sporen Afschuiving en Zettingsvloeiing wordt apart behandeld in Katern 9.

4.3 Niet-waterkerende objecten NWO

De beoordeling van de invloed van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen van dijken en dammen wordt apart behandeld in Katern 10.

5 Havendammen

5.1 Definities en beoordelingssporen

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de toetsmethodiek voor havendammen. Voor de achtergronden en overwegingen wordt verwezen naar [21].

Voor de beoordeling van waterkeringen gelegen achter havendammen zijn in het HR2006 [45] hydraulische randvoorwaarden afgegeven voor een locatie aan de ingang (buitenzijde) van een haven (buiten de invloed van havendammen). Indien uit de beoordeling van primaire waterkeringen, gelegen achter havendammen (zie Katern 5) blijkt dat deze niet voldoen gegeven de hydraulische randvoorwaarden van de locatie aan de ingang van de haven, dan dienen de waterkeringen beoordeeld te worden met de door de havendammen gereduceerde hydraulische randvoorwaarden (zie § 2.2.2 van Katern 4). In dat geval moet tevens aangetoond worden dat de havendammen zelf betrouwbaar zijn en voldoen aan de norm. In dit hoofdstuk worden de toetsingsregels voor havendammen gegeven.

Alleen havendammen die van belang zijn voor de veiligheid van de achterliggende waterkeringen dienen getoetst te worden. Zij moeten opgenomen zijn in de legger en deel uit maken van de kernzone.

In dit hoofdstuk wordt alleen de standzekerheid van havendammen getoetst, dus niet de manier waarop de reductie van de golfaanval in de toetsing kan worden meegenomen; daarvoor wordt verwezen naar § 2.2.2 van Katern 4. De toetsingsregels in dit hoofdstuk leiden niet tot een afzonderlijk te rapporteren toetsscore; het toetsresultaat van de havendammen wordt gerapporteerd als onderdeel van de toetsresultaten van de achter de havendammen gelegen primaire waterkeringen.

Toetsing van een havendam is strikt genomen niet nodig in de volgende gevallen:

- de achterliggende primaire waterkering heeft een eindscore 'goed', indien wordt getoetst met de niet-gereduceerde hydraulische randvoorwaarden aan de ingang van de haven;
- de achterliggende primaire waterkering heeft een eindscore 'onvoldoende', indien wordt getoetst met de gereduceerde hydraulische randvoorwaarden.

Vooraf in het tweede geval is de standzekerheid van de havendam wel zeer relevant in het kader van het verbeterplan.

In de toetsing wordt onderscheid gemaakt tussen:

- de normale havendammen bestaande uit een buitentalud (met eventueel bermen), een ongeveer horizontale of afgeronde kruin, en een binnentalud (met eventueel bermen);
- havendammen met verticale voorzijde (meestal een damwand of kademuur) of een kruinmuur.

Ook de normale havendammen kunnen verticale elementen in het profiel hebben. Die elementen moeten worden getoetst met de toetsmethode voor havendammen met verticale voorzijde.

De toetsmethodiek kent de volgende elementen:

- **Voor havendammen met taluds:**
 - Kruinhoogte (HT);
 - Stabiliteit van damlichaam en voorland (ST):
 - . Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU);
 - . Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI);
 - . Microstabiliteit (STMI);
 - . Afschuiving voorland (AF);
 - . Zettingsvloeiing voorland (ZV);
 - . Bekleding (STBK):
 - Afschuiving en Materiaaltransport;
 - Toplaaginstabiliteit;
 - . Niet-waterkerende objecten (NWO).
- **Voor verticale havendammen of verticale elementen in havendammen:**
 - Hoogte (HT);
 - Stabiliteit constructie (STCG en STCO) en Voorland (STVL).

In de hierna volgende paragrafen worden deze aspecten van de toetsing nader toegelicht.

5.2 Beoordeling

Voordat begonnen wordt met de beoordeling volgens de toetsingsregels in deze paragraaf kan worden nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie hoofdstuk 2 van Katern 2).

In deze paragraaf wordt gebruik gemaakt van 'Toetspeil + toeslagen' om de bij Toetspeil behorende maatgevende waterstand aan te geven. De in rekening te brengen toeslagen zijn aangegeven in Tabel 4 - 2.1 in § 2.2.1 van Katern 2 per type waterkering, per watersysteem en per toetsspoor (faalmechanisme).

5.2.1 Kruinhoogte (HT)

Er is geen toetscriterium voor de hoogte van havendammen, maar de resulterende golftransmissie levert wel de randvoorwaarden op voor de waterkering achter de havendam. Voor het gehele waterkeringssysteem geldt dat de gezamenlijke hoogte van de havendam en de primaire waterkering samen hoog genoeg moeten zijn om een overstroming te voorkomen. Als daarvoor de kruinhoogte van de primaire waterkering, met de aanwezigheid van de havendam, 'onvoldoende' is, kan worden overwogen om of de havendam te verhogen, of de primaire waterkering, of beide. Door deze keuzemogelijkheid is er geen eenvoudig recept te geven dat leidt tot een score voor de havendam en een score voor de primaire waterkering.

5.2.2 Damlichaam: Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

Er is gevaar voor het afschuiven van het buitentalud als de waterstand snel daalt. Dit bezwijkmechanisme kan bij havendammen net zo goed optreden aan de binnenzijde, zie § 5.2.3. Na een periode van zeer hoog water, als de freatische lijn in de havendam nog hoog staat, en de waterstand buiten laag is, zou er een glijcirkel kunnen ontstaan met deformaties als gevolg.

Voor de toetsing wordt onderscheid gemaakt voor de locatie van de havendam:

- langs de estuaria en zeeën (en benedenrivieren): de toetsing van havendammen loopt op dezelfde wijze als voor dijken;
- langs de meren en bovenrivieren: omdat een extreem hoogwater gevolgd door een snelle waterspiegeldaling en daarna weer een extreme belasting zeer uitzonderlijk is en de havendam slechts een ondersteunende functie heeft, worden de havendammen langs de meren en rivieren niet getoetst op dit mechanisme (score is 'goed').

Benadrukt wordt dat voor de toetsing op dit mechanisme bij havendammen het concept van 'bewezen sterkte' een nuttige rol kan spelen, aangezien de maatgevende situatie voor dit faalmechanisme zich in veel gevallen al heeft voorgedaan.

5.2.3 Damlichaam: Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)

De macrostabieliteit binnenwaarts van havendammen moet worden getoetst met dezelfde regels als macrostabieliteit buitenwaarts (zie § 5.2.2, STBU). Een havendam heeft immers een binnenzijde die vergelijkbaar met de buitenzijde wordt belast.

5.2.4 Damlichaam: Microstabieliteit (STMI)

De microstabieliteit betreft het uitspoelen van zand uit een dijklichaam ten gevolge van kwel uit het binnentalud van de dijk of het opdrukken van afdekkende kleilagen op het binnentalud door een hoge freatische lijn in de dijk. Er worden voor havendammen drie situaties onderscheiden:

- de dam bestaat uit zand met daarop een bekleding (zonder kleilaag): er is er geen toetsing op dit mechanisme noodzakelijk (de score is 'goed');
- de dam bestaat uit klei (zonder zand) met daarop een bekleding: er is er geen toetsing op dit mechanisme noodzakelijk (de score is 'goed');
- bestaat de kern van de dam echter uit zand met een (dunne) afdekkende kleilaag, dan is de situatie denkbaar dat na een hoogwater in de dam een hoog freatisch vlak aanwezig is, dat na een snelle val van de buitenwaterstand de kleilaag wil opdrukken. Hier moet op worden gecontroleerd, voor zowel het binnen- als het buitentalud, conform de regels voor dijken. Omdat langs bovenrivieren en meren een extreem hoogwater gevolgd door een snelle waterspiegeldaling en daarna weer een extreme belasting zeer uitzonderlijk is en de havendam slechts een ondersteunende functie heeft, worden de havendammen langs de meren en bovenrivieren niet getoetst op dit mechanisme (score is 'goed').

5.2.5 Voorland: Afschuiving (AF) en Zettingsvloeiing (ZV)

Afschuivingen in het voorland en zettingsvloeiingen in het voorland vormen een bedreiging voor dijken en kunstwerken, en bovendien voor havendammen. De problematiek voor dijken en kunstwerken verschilt in wezen niet van die bij havendammen. Met betrekking tot dit aspect kunnen op globaal niveau dus de normale toetsingsregels uit Katern 9 worden gebruikt.

Op geavanceerd niveau kan worden gekeken of voor havendammen dezelfde veiligheidsmarges als voor primaire waterkeringen moeten worden gehanteerd, omdat aantasting van de havendam minder direct leidt tot inundatie dan aantasting van de primaire waterkering.

5.2.6 *Stabiliteit Bekleding (STBK)*

Bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud beschermt het onder- en achterliggend grondlichaam tegen erosie en beperkt het onderhoud. De problematiek van bekleding op havendammen verschilt van bekleding op dijken, doordat bij havendammen complexe belastinggevallen op kunnen treden bij een waterstandsniveau gelijk aan of in de buurt van de kruin. Het is daarom van belang dat voor elke mogelijke waterstand de maatgevende golfcondities worden bepaald en wordt bekeken of de bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud voldoende stabiel is. Voor dijken wordt de toetsing van bekleding behandeld in Katern 8.

In de eerste plaats worden de regels voor de beoordelingssporen Afschuiving en Materiaaltransport behandeld (hetzelfde voor elk bekledingstype). Vervolgens worden de regels voor het spoor Toplaaginstabiliteit behandeld; hierbij wordt apart aandacht besteed aan steenzettingen, asfalt, gras en breuksteen.

Voor de toetsing van bekledingen op havendammen is het niveau van de kruin ten opzichte van Toetspeil + toeslagen van belang. Hiervoor wordt de parameter h_c gebruikt, met als eenheid [m]. In het geval dat de kruin onder (Toetspeil + toeslagen) ligt, is h_c negatief.

Afschuiving en materiaaltransport

De toetsing op de sporen Afschuiving en Materiaaltransport is van belang voor steenzettingen, asfalt en grasbekledingen. Deze worden daarom eerst behandeld, voordat per bekledingstype wordt ingegaan op de stabiliteit onder golfaanval.

De toetsing op Materiaaltransport moet worden uitgevoerd voor het buitentalud. Hiervoor kunnen de toetsingsregels worden gehanteerd uit Katern 8.

De toetsing op Afschuiving is alleen noodzakelijk voor het buitentalud. Ook hiervoor kunnen de toetsingsregels worden gehanteerd uit Katern 8.

Toplaaginstabiliteit steenzettingen

Voor de belasting op steenzettingen op havendammen wordt onderscheid gemaakt tussen de belasting op het buitentalud, de kruin en het binnentalud (havenzijde). De grootte van de belasting wordt bepaald door de relatieve hoogte van de kruin t.o.v. de waterlijn. De beoordeling verschilt voor het buitentalud en de kruin en het binnentalud.

De kop van een havendam kan alleen geavanceerd getoetst worden; hiervoor dient een beroep op deskundigen gedaan te worden.

Buitentalud

De maatgevende belastinggevallen zijn afhankelijk van de ligging van de kruin ten opzichte van de in rekening te brengen waterstand. Naast Toetspeil + toeslagen dient de toetsna te gaan voor waterstanden lager dan Toetspeil + toeslagen of er situaties optreden die in onderstaande categorieën passen. De maatgevende waterstand dient iteratief bepaald te worden.

Er worden vier situaties onderscheiden:

1. $h_c > H_s$
De beoordelingsmethode van de steenzetting op het buitentalud is gelijk aan die op normale dijken;
2. $-1 < h_c/H_s \leq 1$
Het talud wordt zwaar belast op dezelfde wijze als bij dijken. De beoordeling bestaat uit de beoordeling conform § 2.4.1 van Katern 8 met een aanvullend criterium;

3. $-3 < h_c/H_s \leq -1$

De belasting op de steenzetting is geringer dan de belasting bij Toetspeil + toeslagen. De beoordeling voor topklaaginstabiliteit verloopt conform § 2.4.1 van Katern 8 met een aanvullend criterium en uitgaande van een fictieve topklaagdikte;

4. $h_c/H_s \leq -3$

In dit geval ligt de kruin zo laag dat er geen golven meer boven de dam breken en wordt deze nauwelijks meer belast. De score is direct 'goed'.

waarin:

h_c	=	verschil tussen kruinhoogte en iteratief bepaalde waterstand	[m]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]

Naast Toetspeil + toeslagen dient de toetsers na te gaan voor waterstanden lager dan Toetspeil + toeslagen of er situaties optreden die in deze categorieën passen. Doorgaans is de meest ongunstigste situatie gelijk aan Toetspeil + toeslagen of een waterstand H_s boven de kruin, maar ook met andere waterstanden moet rekening gehouden worden. De gebruiker moet nagaan welke waterstand het ongunstigst is.

Voor categorie 3 moet worden gerekend met een fictieve topklaagdikte. De fictieve topklaagdikte is de aanwezige topklaagdikte gedeeld door de rekenfactor f :

$$f = 0,2 + 0,8 \cdot e^{-1,4(0,8 + h_c/H_s)^3}$$

Voor de zone $h_c/H_s > -1$ (geval 2) is de rekenfactor $f = 1$.

Het aanvullende criterium voor categorie 2 en 3 is gelijk. Het aanvullende criterium is gerelateerd aan de sterkteparameter F .

$$F = \frac{H_s}{\Delta D \cdot f} \cdot \xi^{2/3}$$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid van de topklaag $(\rho_{te} - \rho_w)/\rho_w$	[-]
ρ_{te}	=	dichtheid van de topklaagelementen	[kg/m ³]
ρ_w	=	dichtheid van water	[kg/m ³]
D	=	laagdikte van de topklaag	[m]

Het aanvullende criterium voor steenzettingen in de zone direct onder de kruin ($h_c - H_s < z_{q=0,1} < h_c$, waarbij $z_{q=0,1}$ de golfploophoogte is bij een oloploopdebiet van 0,1 l/m/s) is als volgt:

- Basaltzuilen:
 - 'goed': $F < 4$;
 - 'twijfelachtig': $4 \leq F \leq 7$;
 - 'onvoldoende': $F > 7$.
- Betonzuilen:
 - 'goed': $F < 5$;
 - 'twijfelachtig': $5 \leq F \leq 8$;
 - 'onvoldoende': $F > 8$.

Kruin en binnentalud

Deze paragraaf is alleen van toepassing op de kruin en het binnentalud van havendammen met:

- een kruinbreedte van maximaal 5 m en;

- een helling tussen 1:2,7 en 1:4,8 en;
- een brekerparameter ξ_{op} tussen 1,5 en 3.

Bij grotere kruinbreedtes of flauwere hellingen is beoordeling volgens onderstaande methode conservatief.

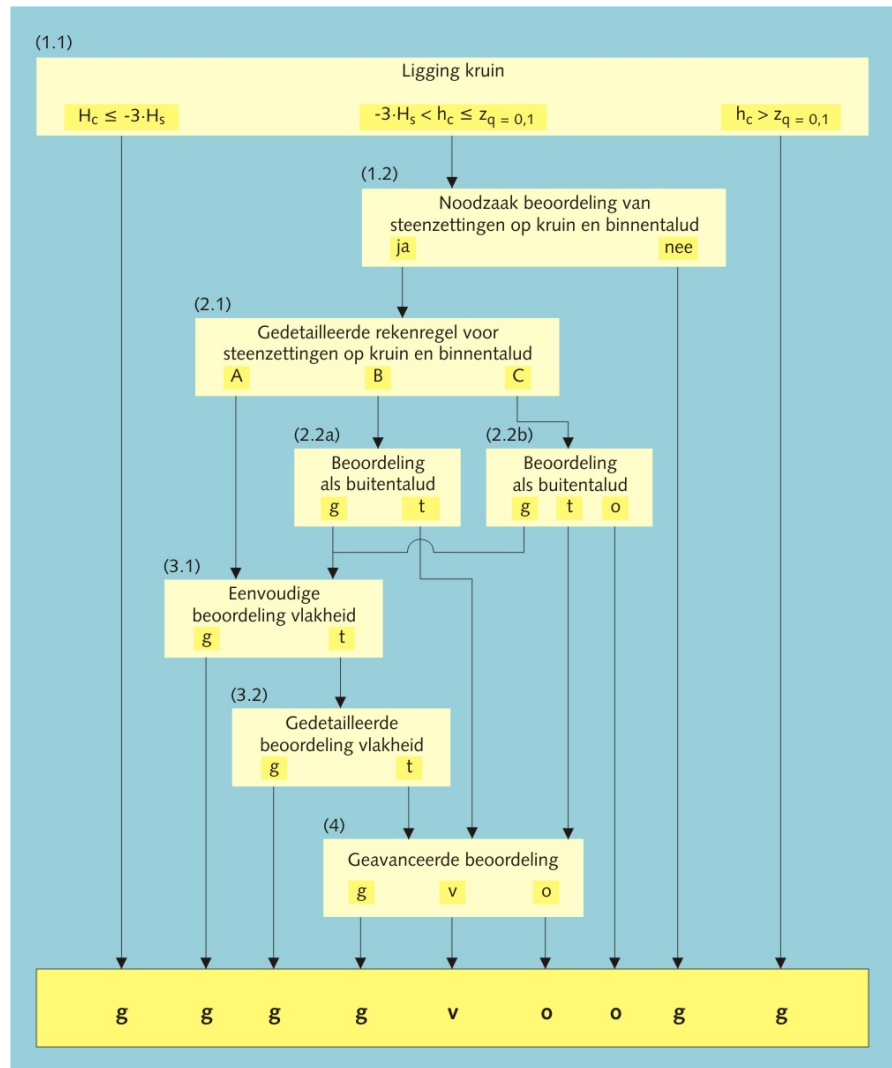
De beoordeling is schematisch weergegeven in Figuur 5 - 5.1 en bestaat uit een viertal stappen. De eerste stap bestaat uit twee deelstappen (stap 1.1 en 1.2) waarin wordt vastgesteld of het taludgedeelte belast wordt. Bij ligging in een zone met lichte belasting is de score 'goed'.

Een steenzetting in de belaste zone wordt in stap 2.1 ingedeeld op basis van specifieke regels voor binnentalud en kruin, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar toplaagtype. Indien de steenzetting wordt aangemerkt als geval B of C, voldoet de steenzetting mogelijk niet. Via een beoordeling als buitentalud (stap 2.2) kan alsnog tot de score 'goed' gekomen worden. Indien een zetting van geval C de score 'onvoldoende' toegerekend krijgt op basis van de beoordeling als buitentalud, dan is dit tevens de eindscore. Bij een score 'goed' in stap 2.2 wordt de steenzetting in stap 3 beoordeeld op de vlakheid van de glooiing.

Stap 3 bestaat eveneens uit een eenvoudige rekenregel (stap 3.1) en een gedetailleerde rekenregel (stap 3.2). Bij een score 'goed' in deze stappen is dit tevens de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' kan middels geavanceerde toetsing (stap 4) tot een eindscore gekomen worden.

Figuur 5 - 5.1

Beoordelingsschema steenzettingen op kruin en binnentalud van havendammen



De eenvoudige en gedetailleerde toetsingsregels in stap 1 en 2 zijn opgenomen in het rekenmodel STEENTOETS.

Stap 1: Voorsorteren op noodzaak beoordeling

De stappen 1.1 en 1.2 maken een selectie van te beoordelen steenzettingen op basis van de ligging ten opzichte van de waterstand.

Stap 1.1: Ligging kruin

De belasting van de kruin en het binnentalud is afhankelijk van de ligging van de kruinhoogte ten opzichte van de waterstand en van de ligging van de te beoordelen steenzetting. Hierbij geldt dat Toetspeil + toeslagen niet per definitie maatgevend is.

Er worden vier situaties onderscheiden:

1. $h_c > z_{q=0,1}$
De belasting op kruin en binnentalud is zo klein dat deze verwaarloosbaar is;
2. $0 < h_c \leq z_{q=0,1}$
Het binnentalud wordt belast door hoge stroomsnelheden van overslaand water

3. $-3 < h_c/H_s$ en $h_c \leq 0$
Het talud wordt belast door hoge stroomsnelheden van overslaand water en door golfklap;
4. $h_c/H_s \leq -3$
In dit geval ligt de kruin zo laag dat er geen golven meer boven de dam breken en wordt deze nauwelijks meer belast.

waarin:

h_c	=	verschil tussen kruinhoogte en iteratief bepaalde waterstand	[m]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
$Z_{q=0,1}$	=	golfoploophoogte bij een olopdebiet van 0,1 l/m/s	[m]

Bij dammen volgens situaties 1 en 4 hebben de steenzettingen op de kruin en het binnentalud de score 'goed'. Voor dammen waarvoor situatie 2 of 3 geldt wordt de beoordeling voortgezet met stap 1.2.

Stap 1.2: Noodzaak beoordeling van steenzettingen op kruin en binnentalud

Niet alle steenzettingen op de kruin en het binnentalud moeten beoordeeld worden. De noodzaak tot toetsing is afhankelijk van de mate waarin de zone belast wordt door overslaand water. Een steenzetting kan in meerdere situaties vallen omdat niet alleen op Toetspeil + toeslagen beoordeeld moet worden.

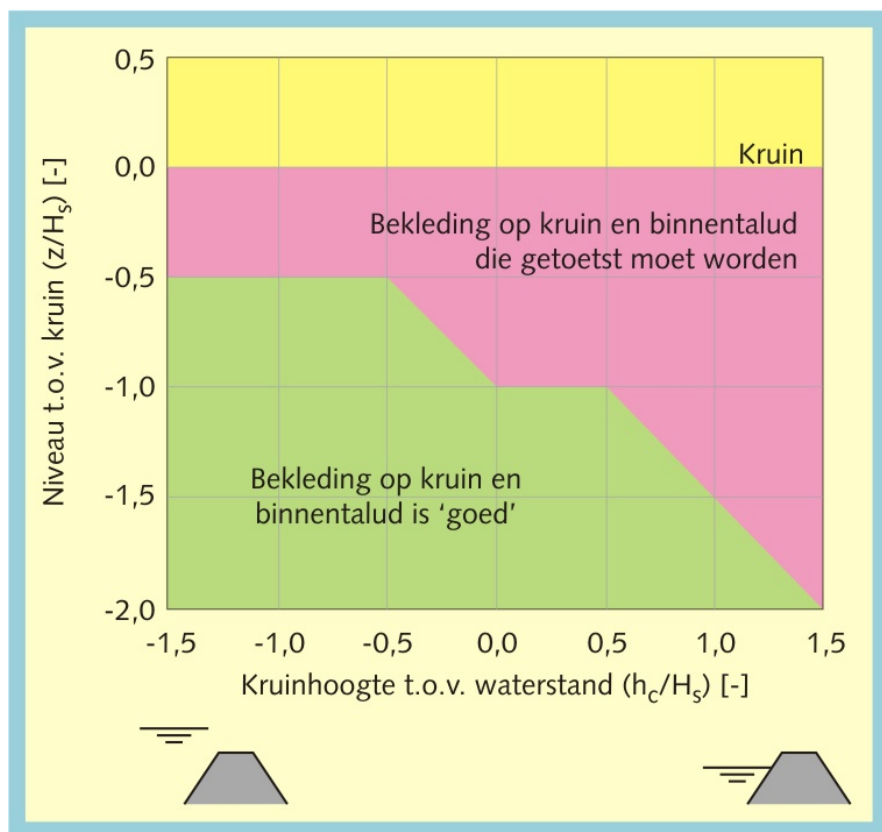
Er worden vier situaties onderscheiden:

1. $h_c/H_s > 0,5$
Alleen steenzettingen boven de waterstand - $0,5 \cdot H_s$ toetsen;
2. $0 < h_c/H_s \leq 0,5$
Alleen steenzettingen boven $h_c - H_s$ toetsen;
3. $-0,5 < h_c/H_s \leq 0$
Alleen steenzettingen boven waterstand - H_s toetsen;
4. $h_c/H_s \leq -0,5$
Alleen steenzettingen boven $h_c - 0,5 \cdot H_s$ toetsen.

Deze situaties staan ook weergegeven in Figuur 5 - 5.2.

Figuur 5 - 5.2

Zone-indeling voor toetsing topplaaginstabiliteit steenzettingen kruin en binnentalud bij dammen



Doorgaans is de waterstand variabel en kan het zijn dat een havendam moet worden beoordeeld voor meer dan één situatie uit bovenstaande lijst. Bij het bepalen van de situatie moet dus niet alleen worden gekeken naar de situatie bij Toetspeil + toeslagen, maar ook bij lagere waterstanden, en daarbij hoort in elk geval een andere waarde voor h_c en vaak ook voor H_s . Het is van belang dat voor elke mogelijke waterstand de maatgevende golfcondities worden bepaald en dat wordt bekeken of de bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud voldoende stabiel zijn. Steenzettingen die in genoemde zones liggen, moeten worden beoordeeld in stap 2. Steenzettingen op kruin en binnentalud die buiten genoemde zones liggen, worden niet beoordeeld; de score is 'goed'. De maatgevende waterstand ligt vaak op Toetspeil + toeslagen of op circa H_s boven de kruin, maar ook op andere waterstanden dient gecontroleerd te worden.

Stap 2: Gedetailleerde rekenregel

Indien de score op basis van de ligging van de kruin ten opzichte van de waterstand niet 'goed' is (zie stap 1 en parse gedeelte in Figuur 5 - 5.2), dient de toetsing voortgezet te worden met de gedetailleerde beoordeling. De gedetailleerde beoordeling bestaat uit de toepassing van de gedetailleerde rekenregels (stap 2.1) en beoordeling als buitentalud (stap 2.2).

Stap 2.1: Gedetailleerde rekenregel voor steenzettingen op kruin en binnentalud

De toetsingsregels voor gedetailleerde toetsing van steenzettingen op kruin en binnentalud zijn afhankelijk van het type steenzetting. Er wordt onderscheid gemaakt naar de gevallen A, B en C. Het onderscheid tussen de steenzettingen wordt gemaakt op basis van de leklengte, die gerelateerd is aan het type steenzetting. Deze regels zijn alleen geldig voor $1,5 < \xi < 3$, waarbij ξ de brekerparameters is. Buiten deze grenzen wordt de steenzetting aangemerkt als geval B. De brekerparameter ξ wordt bepaald op basis van de helling van het buitentalud.

Voor steenzettingen onder het niveau $h_c/H_s < -1$ wordt gerekend met rekenwaarde f :

$$f=0,2+0,8 \cdot e^{1,4 \cdot (0,8+h_c/H_s)^3}$$

De toetsingscriteria verschillen voor bekledingen met korte leklengte en bekledingen met lange leklengte. De toetsingscriteria voor bekledingen met een lange leklengte zijn tevens afhankelijk van de locatie in het dwarsprofiel, zie 2 en 3.

1. Steenzettingen met een korte leklengte ($\Lambda \approx 0,4$ m) zoals basalt, Basalton en Hydroblocks op kruin en binnentalud (ook op of onder een eventuele binnenberm), gelden de volgende toetsingscriteria:

- Indien $h_c/H_s \geq -1$:

- geval A:
$$\frac{H_s}{\Delta D} < \min \left\{ 2,8 + 3,2 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}$$

- geval C:
$$\frac{H_s}{\Delta D} > \min \left\{ 5 + 6 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

- anders: geval B.

- Indien $h_c/H_s < -1$:

- geval A:
$$\frac{H_s}{\Delta D} < \min \left\{ \frac{2,8}{f} ; 15 \right\}$$

- geval C:
$$\frac{H_s}{\Delta D} > \min \left\{ \frac{5}{f} ; 20 \right\}$$

- anders: geval B.

2. Voor steenzettingen met een lange leklengte ($\Lambda \approx 1$ m), zoals rechthoekige betonblokken op filter op kruin en binnentalud boven een eventuele binnenberm gelden de volgende toetsingscriteria:

- Indien $h_c/H_s \geq -1$:

- geval A:
$$\frac{H_s}{\Delta D} < \min \left\{ 1,8 + 2,7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 15 \right\}$$

- geval C:
$$\frac{H_s}{\Delta D} > \min \left\{ 3,8 + 7 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s} + 1 \right)^3 ; 20 \right\}$$

- anders: geval B.

- Indien $h_c/H_s < -1$:

- geval A:
$$\frac{H_s}{\Delta D} < \min\left\{\frac{1,8}{f}; 15\right\}$$

- geval C:
$$\frac{H_s}{\Delta D} > \min\left\{\frac{3,8}{f}; 20\right\}$$

- geval B.

3. Steenzettingen met een lange leklengte ($\Lambda \approx 1$ m) op de binnenberm en het talud onder de binnenberm waarvoor geldt $h_c \geq 0$, en op de binnenberm met het niveau van de binnenberm tussen waterstand $+0,5 \cdot H_s$ en waterstand $-0,5 \cdot H_s$, gelden de volgende toetsingscriteria:

- geval A:
$$\frac{H_s}{\Delta D} < \min\left\{3 + 4 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s}\right)^3; 15\right\}$$

- geval C:
$$\frac{H_s}{\Delta D} > \min\left\{7 + 8 \cdot \left(\frac{h_c}{H_s}\right)^3; 20\right\}$$

- anders: geval B.

Steenzettingen zonder granulaire laag hebben de tussenscore 'twijfelachtig'. Voor leklengtes anders dan 0,4 en 1 m kan worden geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd. De beoordeling van steenzettingen met de score 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' wordt voortgezet met stap 3.

Stap 2.2: Beoordeling als buitentalud

De eindscore is 'goed' indien uit het rekenmodel STEENTOETS of uit de blackbox-grafieken volgt dat de score 'goed' is bij een beoordeling van de steenzetting als buitentalud met de belasting op het buitentalud. Beoordeling vindt plaats volgens de werkelijke geometrie en constructie van het binnentalud, maar met de hydraulische belasting op golfklap of golfloop van het buitentalud (zie hoofdstuk 2 van Katern 8). Een score 'onvoldoende' is tevens de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toets (stap 4). Indien volgens het rekenmodel STEENTOETS de score 'onvoldoende' is en de steenzetting in stap 2.1 als geval C is aangemerkt, dan is de eindscore 'onvoldoende'.

Stap 3: Beoordeling vlakheid

Beoordeling van de vlakheid van de glooiing op kruin en binnentalud is nodig indien de steenzetting als geval A is aangemerkt in stap 2.1 of indien de tussenscore uit stap 2.2 'goed' is. Oneffenheden in het oppervlak van de bekleding op de kruin en het binnentalud kunnen leiden tot schade. De beoordeling op de vlakheid van de glooiing is opgedeeld in een eenvoudige en een gedetailleerde beoordeling. De eenvoudige beoordeling wordt altijd eerst doorlopen.

Stap 3.1: Eenvoudige beoordeling vlakheid kruin en binnentalud

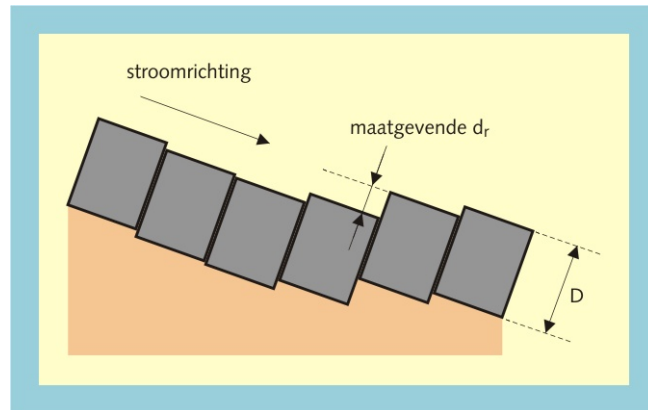
Indien $h_c \geq 0$, dan mag de steenzetting op de kruin en het binnentalud geen grote oneffenheden vertonen die de stroming beïnvloeden. De beoordeling van de vlakheid is alleen nodig voor het geval dat $h_c \geq 0$.

De score is 'goed' indien oneffenheden d_r kleiner zijn dan $0,11 \cdot D$ (zie Figuur 5 - 5.3) of als $h_c < 0$. Dit is tevens de eindscore. D is de toplaagdikte en bij de bepaling van d_r moet uitgegaan worden van twee direct naast elkaar gelegen (rijen) stenen, zoals aangegeven in Figuur 5 - 5.3.

In alle andere gevallen wordt verder gegaan met stap 3.2.

Figuur 5 - 5.3

Maatgevende afmeting oneffenheid van steenzettingen op kruin en binnentalud



Stap 3.2: Gedetailleerde beoordeling vlakheid kruin en binnentalud

De gedetailleerde rekenregel is beschreven in [38]. Indien uit de gedetailleerde rekenregel voor vlakheid de score 'goed' volgt, dan is dit de eindscore. In alle andere gevallen wordt de toetsing voortgezet met stap 4.

Stap 4: Geavanceerde toetsing

Indien het resultaat uit stap 2 of 3 'twijfelachtig' is, wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd. De nadere bestudering van het specifieke geval kan soms tot een wat scherpere beoordeling leiden, zo is bijvoorbeeld bij bredere kruinen (> 5 m) of hellingen flauwer dan 1:4,8 sprake van een lichtere belasting op het binnentalud. In andere gevallen kan er uitsluitsel worden verkregen door middel van bijvoorbeeld modelonderzoek.

Toplaaginstabiliteit asfalt

Verwezen wordt naar hoofdstuk 1 en 3 van Katern 8 voor een beschrijving van de asfalttypes die met dit Voorschrift kunnen worden getoetst.

Ten aanzien van havendammen met een asfaltbekleding wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende drie types:

1. **Hoge dammen:** $h_c/H_s > 0,5$.
Als de kruin van de dam ver boven water uitsteekt is de belasting op de bekleding zeer vergelijkbaar met die van een asfaltbekleding op een gewone dijk;
2. **Dammen met een kruin rond de waterlijn:** $-0,5 < h_c/H_s < 0,5$.
Bij dit type is er zeer veel golfoverslag of verdwijnt de kruin zelfs vrijwel permanent onder water. De belasting bestaat dan uit golfklappen en de wateroverdrukken, zoals behandeld in Katern 8;
3. **Lage dammen:** $h_c/H_s < -0,5$.
Naarmate de kruin van de dam verder onder water verdwijnt, zal de belasting door golfklappen afnemen.

Daarnaast kan de kruin zo water- en luchtdicht zijn, dat tijdens het stijgen van de waterstand er lucht opgesloten raakt onder de kruin.

Voor elk van deze categorieën worden onderstaand de toetscriteria gegeven, nadat eerst de toetscriteria voor opgesloten lucht zijn behandeld. Doorgaans is de waterstand variabel en kan het zijn dat een havendam moet worden beoordeeld voor meer dan één situatie uit bovenstaande lijst. Het is van belang dat voor elke mogelijke waterstand de maatgevende golfcondities worden bepaald en wordt bekeken of de bekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud voldoende stabiel zijn.

Opbarsten door ingesloten lucht

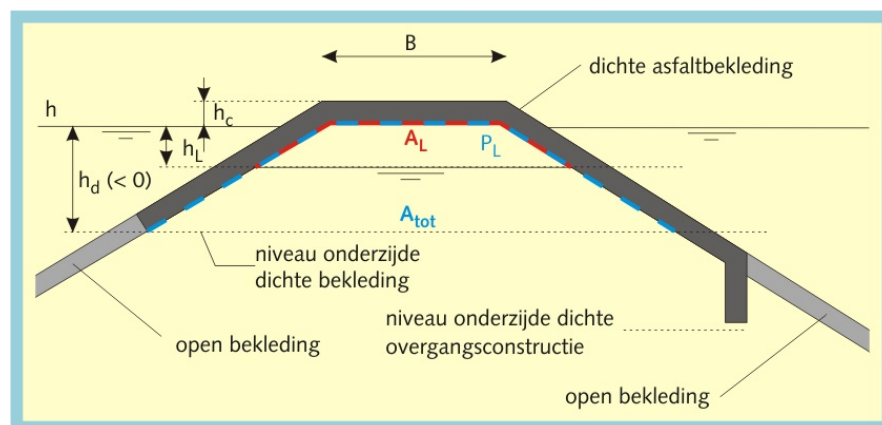
Als de kruin van de havendam volledig lucht- en waterdicht is, inclusief de aansluitende bekledingen op het binnen- en buitentalud, kan er een mechanisme optreden dat bij dijken is uitgesloten en niet in de rest van dit Voorschrift wordt behandeld. De stijgende freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden kan ervoor zorgen dat er een luchtbel onder de kruin ingesloten raakt en door de waterdruk wordt gecompriëerd. De hiermee samenhangende opwaartse druk is zodanig groot dat de kruinbekleding kan openbarsten. Dit aspect moet derhalve ook worden getoetst. Mocht dit volgens de toetsing mogelijk een probleem vormen, dan is dit veelal eenvoudig op te lossen door luchtpijpjes in de kruin te plaatsen.

Er is een aantal gevallen waarbij dit bezwijkmechanisme niet te verwachten is:

- als alleen de kruin van dicht asfalt is, en de aansluitende taluds een open bekleding hebben (lucht- en waterdoorlatend);
- als alleen de kruin en het binnentalud van dicht asfalt zijn en het buitentalud een open bekleding heeft;
- als alleen de kruin en het buitentalud van dicht asfalt zijn en het binnentalud een open bekleding heeft;
- als er in de kruin een voldoende aantal goed werkende luchtpijpjes is geplaatst;
- als de kruin van open steenasfalt is gemaakt.

In het geval dat de dichte asfaltbekleding de kruin en binnen- en buitentalud beschermt, moet op zowel het binnentalud als het buitentalud worden vastgesteld tot welk niveau de dichte bekleding doorloopt. Daarbij geldt het niveau van de onderzijde van de bekleding, of de onderzijde van een daarop aansluitende overgangsconstructie, ten opzichte van de waterstand. Dit is toegelicht in Figuur 5 - 5.4.

Figuur 5 - 5.4
Situatieschets ingesloten lucht



Van deze niveaus op het binnentalud en het buitentalud is de hoogste maatgevend. Dit niveau wordt h_d genoemd. Omdat dit wordt gerelateerd aan de buitenwaterstand is dit doorgaans een negatief getal. Dit geldt ook voor h_L .

Voor een eenvoudige geometrie van een dam met binnen- en buitentaldhelling α en kruinbreedte B, geldt:

$$-\frac{1}{10} h_L + 1 = \frac{A_{tot}}{A_L} = \frac{(B + (h_c - D - h_d) / \tan \alpha) (h_c - D - h_d)}{(B + (h_c - D - h_L) / \tan \alpha) (h_c - D - h_L)}$$

indien $h_c \leq 0$, reken dan met $h_c = 0$.

waarin:

h_L	=	niveau van de freatische lijn t.o.v. de buitenwaterstand	[m]
A_{tot}	=	het totale volume per m ¹ dam onder de asfaltbekleding, boven de lijn ter hoogte van h_d	[m ²]
A_L	=	het volume lucht per m ¹ dam onder de asfaltbekleding	[m ²]
B	=	kruinbreedte	[m]
D	=	dikte van de bekleding op de kruin	[m]
h_d	=	het niveau aan de onderzijde van de bekleding waar de dichte bekleding begint (hoogste van binnen- en buitentalud) t.o.v. de buitenwaterstand	[m]
α	=	gemiddelde taludhelling	[°]

In deze formule is alleen h_L een onbekende en deze kan dus worden berekend (derdegraads vergelijking). Als er geen golven van betekenis zijn, hoeft in de formule nooit met een waterstand boven de kruin te worden gerekend, omdat een hogere waterstand weliswaar een hogere druk onder de kruin oplevert, maar dat wordt gecompenseerd door de druk op de kruin. Als er sprake is van golfbelasting moet er wel gerekend worden met een waterstand die hoger is dan de kruin, met een golfdal ter plaatse van de kruin.

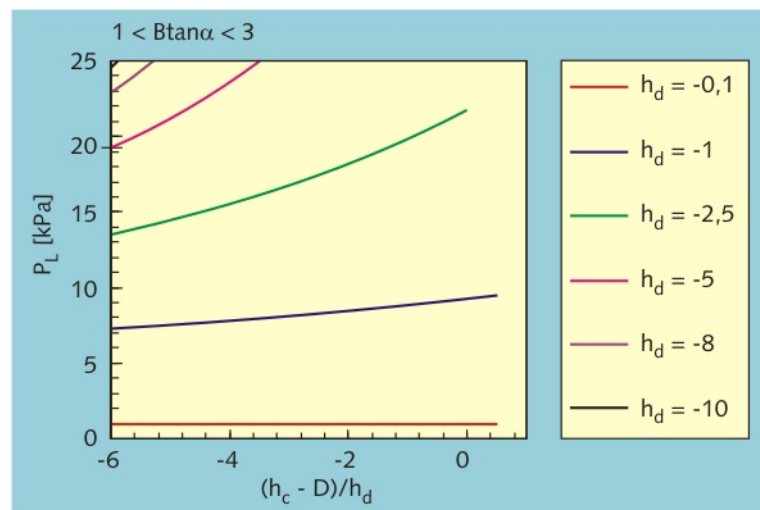
Voor de toetsing is de parameter P_L van belang: de luchtdruk onder de kruin ten opzichte van de atmosferische druk, uitgedrukt in [Pa]. Met de berekende h_L kan de grootte van P_L worden berekend:

$$P_L = -\rho_w \cdot g \cdot h_L$$

In onderstaande figuur zijn enkele resultaten van berekeningen gegeven.

Figuur 5 - 5.5

Voorbeeld rekenresultaten ingesloten lucht



Het toetsresultaat kan voor dit aspect vervolgens worden bepaald met:

- 'goed': $P_L < \rho_i \cdot g \cdot D$;
- 'twijfelachtig':
 - $\rho_i \cdot g \cdot D \leq P_L \leq 2\rho_i \cdot g \cdot D$ of
 - als $h_c \gg z_{2\%}/2$ en bovendien is de aanwezigheid van scheuren in de kruin acceptabel;
- 'onvoldoende': $P_L > 2\rho_i \cdot g \cdot D$.

Hoge dammen: $h_c/H_s > 0,5$

De toetsing van het buitentalud kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als in hoofdstuk 3 van Katern 8, echter rekening houdend met het volgende:

- wateroverdrukken zijn pas een probleem als de waterstand daalt na een hoge waterstand. Omdat het langs meren en bovenrivieren buitengewoon zeldzaam is dat er na een hoge waterstand eerst een lage waterstand optreedt en daarna nog eens de maatgevende toetsomstandigheden, gecombineerd met het feit dat de havendam slechts een ondersteunende functie heeft binnen het waterkeringsysteem, wordt voorgesteld om alleen op wateroverdrukken te toetsen langs de estuaria en zeeën en in het benedenrivierengebied;
- ten aanzien van wateroverdrukken moet er rekening worden gehouden met een vrij hoge freatische lijn, omdat het water langs de binnenzijde en de buitenzijde in de dam kan binnendringen. Voor de grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig' kan worden gerekend met een freatische lijn gelijk aan de maximale buitenwaterstand. Voor de grens tussen 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' kan worden gerekend met een niveau van de freatische lijn halverwege tussen het maximale Toetspeil + toeslagen en de gemiddelde waterstand onder normale omstandigheden;
- als niet alleen de kruin van asfalt is, maar ook de aansluitende taluds aan binnen- en buitenzijde een dichte bekleding hebben (lucht- en waterondoorlatend) moet rekening worden gehouden met het mechanisme 'opbarsten door ingesloten lucht' (zie boven);
- in hoofdstuk 3 van Katern 8 staat aangegeven dat boven een niveau van Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4}H_s$ alleen een visuele toetsing op Materiaaltransport nodig is, terwijl boven een niveau van Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2}z_{2\%}$ de score direct 'goed' is. Dit geldt ook voor havendammen;
- de toetsing van de kruin en het binnentalud van de havendam kan verder plaatsvinden op dezelfde wijze als de bovenrand van het buitentalud.

Dammen met een kruin rond de waterlijn: $-0,5 < h_c/H_s < 0,5$

De toetsing kan op dezelfde wijze uitgevoerd worden als in hoofdstuk 3 van Katern 8, echter rekening houdend met het volgende:

- wateroverdrukken zijn pas een probleem als de waterstand daalt na een hoge waterstand. Omdat het langs meren en bovenrivieren buitengewoon zeldzaam is dat er na een hoge waterstand eerst een lage waterstand optreedt en daarna nog eens de maatgevende toetsomstandigheden, gecombineerd met het feit dat de havendam slechts een ondersteunende functie heeft binnen het waterkeringsysteem, moet alleen op wateroverdrukken getoetst te worden langs de estuaria en zeeën en in het benedenrivierengebied;
- ten aanzien van wateroverdrukken moet er rekening worden gehouden met een vrij hoge freatische lijn, omdat het water langs de binnenzijde en de buitenzijde in de dam kan binnendringen. Voor de grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig' kan worden gerekend met een freatische lijn gelijk aan de maximale buitenwaterstand (maar niet hoger dan de kruin). Voor de grens tussen 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' kan worden gerekend met een niveau van de freatische lijn halverwege tussen het

maximale Toetspeil + toeslagen en de gemiddelde waterstand onder normale omstandigheden;

- als niet alleen de kruin van asfalt is, maar ook de aansluitende taluds aan binnen- en buitenzijde een dichte bekleding hebben (lucht en water ondoorlatend) moet rekening worden gehouden met het mechanisme 'opbarsten door ingesloten lucht' (zie boven);
- de kruin moet op golfklappen worden getoetst als $h_c/H_s < 0$;
- het binnentalud hoeft niet op golfklappen te worden getoetst.

Lage dammen: $h_c/H_s < -0,5$

Het asfalt kan worden getoetst volgens de normale methode uit hoofdstuk 3 van Katern 8, echter rekening houdend met het volgende:

- voor de beoordeling op golfklappen mag de aanwezige dikte van het asfalt gedeeld worden door de invloedsfactor:
 - grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig':
 - als $h_c/H_s < -1$: $f = e^{1-(h_c/H_s)^2}$;
 - als $h_c/H_s > -1$: $f = 1$;
 - grens tussen 'twijfelachtig' en 'onvoldoende':
 - als $h_c/H_s < -0,5$: $f = e^{0,25-(h_c/H_s)^2}$;
 - als $h_c/H_s > -0,5$: $f = 1$;
- het binnentalud hoeft niet op golfklappen te worden getoetst;
- wateroverdrukken zijn pas een probleem als de waterstand daalt na een hoge waterstand. Omdat het langs meren en bovenrivieren buitengewoon zeldzaam is dat er na een hoge waterstand eerst een lage waterstand optreedt en daarna nog eens de maatgevende toetsomstandigheden, gecombineerd met het feit dat de havendam slechts een ondersteunende functie heeft binnen het waterkeringsysteem, hoeft alleen op wateroverdrukken te worden getoetst langs de estuaria en zeeën en in het benedenrivierengebied;
- ten aanzien van wateroverdrukken moet er rekening worden gehouden met een vrij hoge freatische lijn, omdat het water langs de binnenzijde en de buitenzijde in de dam kan binnendringen. Voor de grens tussen 'goed' en 'twijfelachtig' kan worden gerekend met een freatische lijn gelijk aan de maximale buitenwaterstand (maar niet hoger dan de kruin). Voor de grens tussen 'twijfelachtig' en 'onvoldoende' kan worden gerekend met een niveau van de freatische lijn halverwege tussen het maximale Toetspeil + toeslagen en de gemiddelde waterstand onder normale omstandigheden;
- als de kruin en de aansluitende taluds water- en luchtdicht zijn, moet er worden getoetst op het ontstaan van overdruk door opgesloten lucht (zie boven).

Toplaaginstabiliteit gras

Voor de toetsing van grasbekledingen kan worden gebruik gemaakt van hoofdstuk 4 van Katern 8, waarbij er rekening moet worden gehouden met enkele kleine wijzigingen:

- het binnentalud moet worden getoetst op stroming zolang de kruin hoger ligt dan een halve golfhoogte onder de waterlijn ($h_c/H_s > -0,5$). Deze toetsing moet worden uitgevoerd voor dat deel van het binnentalud dat niet meer dan een halve golfhoogte onder water ligt ($z > h - H_s/2$). Als de kruin boven water ligt ($h_c > 0$), kan worden volstaan met een toetsing op stroming op dat deel van het binnentalud dat niet meer dan een kwart golfhoogte onder water ligt ($z > h - H_s/4$). De golfoverslag veroorzaakt een stroming op het binnentalud die als een waterstraal tot onder de waterlijn tot een aanzienlijke belasting leidt. Als de kruin erg laag ligt, moet tevens rekening worden gehouden met het feit dat er een golfdal aanwezig kan zijn op het moment dat de waterstraal het binnentalud belast;

- het binnentalud hoeft niet op stroming te worden beoordeeld als de kruin meer dan een halve golfhoogte onder de waterlijn ligt ($h_c/H_s < -0,5$). Er zal dan nog wel enige stroming door de brekende golven op het binnentalud plaatsvinden, maar dat is zo gering dat elke grasmat dit kan weerstaan;
- het binnentalud hoeft niet op golfklappen te worden beoordeeld;
- als de kruin onder water ligt, maar niet meer dan een golfhoogte eronder ($-1 < h_c/H_s < 0$), moeten kruin en buitentalud worden getoetst op golfklappen;
- als de kruin meer dan een golfhoogte onder de waterlijn ligt ($h_c/H_s < -1$), is een toetsing op golfklappen niet meer nodig, maar moet de kruin wel worden getoetst op stroming. Onder deze omstandigheden zullen de golven nog wel breken boven de havendam, maar de golfklappen zullen neerkomen in een dikke waterlaag waardoor hun kracht niet direct op het gras kan aangrijpen. Het gras op het buitentalud moet worden getoetst op stroming tot een halve golfhoogte onder de kruin, maar nooit lager dan $2H_s$ onder de waterlijn ($z > \max\{h - 2 \cdot H_s; h_c - H_s/2\}$);
- als de kruin meer dan twee golfhoogten onder de waterlijn ligt ($h_c/H_s < -2$), dan is een toetsing van de grasmat niet meer noodzakelijk. Het resultaat is dan 'goed'. Uit ervaring met andere constructies is gebleken dat de golfbelasting vrijwel verdwenen is als de kruin ongeveer $2 \cdot H_s$ onder water ligt.

Toplaaginstabiliteit breuksteen

Voor de toetsing van havendammen met een toplaag van breuksteen moet de schade worden berekend die te verwachten is onder toetsomstandigheden. De schade wordt weergegeven met de schadeparameter S . Er worden drie situaties onderscheiden.

De kruin van de havendam ligt ver boven de waterlijn ($h_c/H_s > 0,8$)

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen 'plunging' en 'surging' golven. De overgang ligt, afhankelijk van de permeabiliteit en taludhelling tussen $\xi_m = 2,5$ en $\xi_m = 4$.

Toetsing op basis van 'plunging' golven (als $\xi_m < [6,2 \cdot P^{0,31} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{p+0,5}}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6,2 \cdot P^{0,18} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \xi_m^{-0,5}$$

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

Toetsing op basis van 'surging' golven (als $\xi_m > [6,2 \cdot P^{0,31} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{p+0,5}}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1,0 \cdot P^{-0,13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \sqrt{\cot \alpha} \cdot \xi_m^P$$

waarin:

H_s	=	significante golfhoogte	[m]
Δ	=	relatieve dichtheid $\Delta = \rho_s/\rho_w - 1$	[-]
D_{n50}	=	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]
M_x	=	massa die door x% van de steenstukken van een sortering wordt onderschreden	[kg]
ρ_s	=	soortelijke massa van breuksteen	[kg/m ³]
ρ_w	=	soortelijke massa van water	[kg/m ³]
P	=	permeabiliteitsfactor (0,1 - 0,6)	[-]
S	=	schadegetal $S = A_e/D_{n50}^2$	[-]
A_e	=	erosie-oppervlak rond de waterlijn	[m ²]
N	=	aantal golven	[-]
ξ_m	=	golfbrekerparameter gebaseerd op T_m	[-]
α	=	taludhelling van het buitentalud	[-]
T_m	=	gemiddelde golfperiode (factor 1,1 à 1,3 kleiner dan piekperiode T_p)	[s]

De kruin van de havendam ligt net boven de waterlijn ($0 < h_c/H_s < 0,8$)

Met de volgende factor moet de steendiameter worden vergroot tijdens de toetsing als $0 < h_c/H_s < 0,8$:

$$f = 1,25 - 1,9 (h_c/H_s) \cdot \sqrt{s_{op}}$$

Vervolgens kunnen de bovenstaande formules van situatie 1 worden gebruikt om de schade S te berekenen.

De kruin van de havendam ligt onder de waterlijn ($h_c/H_s < 0$)

De schade kan worden berekend met de volgende formule:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = -7,14 \cdot \ln \left(\frac{h + h_c}{2,1 + 0,1 \cdot S} \right)$$

waarin:

h	=	waterdiepte voor de constructie	[m]
h_c	=	relatieve kruinhoogte	[m]

Met bovenstaande formules kan de te verwachten schade S onder de toetsomstandigheden worden berekend. Vervolgens kan het toetsresultaat worden afgelezen in de volgende tabel:

Tabel 5 - 5.1
Toetsresultaat breuksteen op havendammen

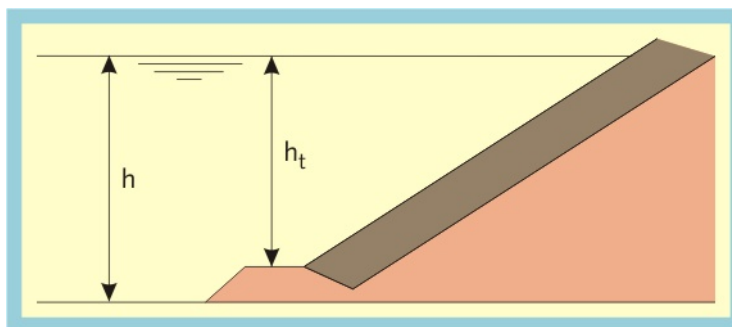
Taludhelling	'goed'	'twijfelachtig'	'onvoldoende'
$1,5 < \cot\alpha < 2,5$	$S < 4$	$4 \leq S \leq 8$	$S > 8$
$2,5 \leq \cot\alpha < 4$	$S < 8$	$8 \leq S \leq 12$	$S > 12$
$4 \leq \cot\alpha < 6$	$S < 10$	$10 \leq S \leq 17$	$S > 17$

Opgemerkt moet worden dat de schadewaarden op de grens van 'goed' en 'twijfelachtig' meestal niet geschikt zijn voor ontwerpdoeleinden.

Als het resultaat ‘*twijfelachtig*’ is, dan kan er een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd. De nadere bestudering van het specifieke geval kan soms tot een wat scherpere beoordeling leiden, en in andere gevallen kan er uitsluitel worden verkregen door middel van modelonderzoek.

Een voorwaarde voor een stabiele constructie is dat geen afschuiving van het buitentalud optreedt. Hiervoor is het nodig dat de teen van de constructie voldoende zwaar is uitgevoerd. Voor het bepalen van de teenstabiliteit is de waterdiepte op de teen (h_t) een belangrijke parameter.

Figuur 5 - 5.6
Definitieschets teenstabiliteit



Wanneer $h_t/h > 0,5$ dan mag onderstaande formule uit [21] worden gebruikt voor het toetsen van de teenstabiliteit.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 8,7 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{1,4}$$

In gevallen waarin de waterdiepte kleiner is ($h_t/h < 0,5$) moet worden gebruik gemaakt van de formules voor het buitentalud van een relatief hoge dam (zie situatie 1).

5.2.7 Niet-waterkerende objecten (NWO)

Ook havendammen hebben soms niet waterkerende elementen, zoals monumenten, trappen, bankjes, muurtjes enzovoort. Al deze niet waterkerende elementen kunnen worden getoetst op dezelfde wijze als in Katern 10.

5.2.8 Verticale havendammen of verticale elementen in havendammen

Sommige havendammen kunnen worden beschouwd als een waterbouwkundig kunstwerk, vooral als zij grotendeels uit verticale elementen zijn opgebouwd. Deze constructies kunnen worden getoetst zoals omschreven staat in Katern 7, maar daarbij hoeft slechts het volgende te worden beoordeeld:

- Hoogte (HT);
- Stabiliteit constructie (STCG en STCO) en voorland (STVL).

6 Aansluiting van dijken aan hoge gronden

6.1 Definitie en afbakening

Hoge gronden zijn gedefinieerd als natuurlijke hoge delen van Nederland die niet overstromen bij maatgevend hoogwater én die als zodanig zijn aangegeven op bijlagen I en IA van de Wet. Hoge gronden vormen samen met primaire waterkeringen het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit.

De begrenzingslijn van de hoge gronden is slechts globaal aangegeven in Bijlagen I en IA bij de Wet en in Figuur 1.1 en Figuur 1.2 in het Centrale Gedeelte. Een nadere specificatie is niet direct nodig aangezien de beheerder van de aansluitende primaire waterkering in de legger en de keur (waterschap) aan dient te geven tot welk gebied zijn zorg zich uitstrekt om het waterkerend vermogen van de primaire waterkeringen te waarborgen. De aansluiting van de primaire waterkering op de hoge grond behoort dus tot de zorg van de waterkeringbeheerder. Daardoor zijn activiteiten in de door de beheerder in de legger en keur aangegeven beschermingszone vergunningplichtig aan de waterkeringbeheerder en deze dient erop toe te zien dat vergunningen gehandhaafd worden.

Buiten de aansluitingen op primaire waterkeringen is geen waterkeringbeheerder verantwoordelijk voor het omsloten zijn en blijven van het dijkkringgebied en dient de provincie er op toe te zien dat hoge grond, hoge grond blijft. Als hulpmiddel hierbij kan de provincie een hoogtekaart opstellen op basis van de laatste versie van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN), waarop in kleur van toepassing zijnde kritieke hoogtelijnen zijn opgenomen. Het is aan de provincie om de kritieke hoogtelijnen vast te stellen.

Kenmerkend voor de hoge gronden, zoals die zijn gedefinieerd in dit hoofdstuk, is dat ze niet worden beheerd als een waterkering. Op verschillende plaatsen in Nederland wordt een deel van de primaire waterkering gevormd door zeer brede grondlichamen van menselijke of natuurlijke oorsprong, zoals bijvoorbeeld enkele oude forten langs de IJssel en keilembulten zoals Urk en Westerland in Noord-Holland. Deze grondlichamen worden van oudsher vaak aangeduid als hoge gronden, maar zijn primaire waterkering in de zin van de Wet en dienen als zodanig beheerd te worden. De toetsing van deze trajecten moet daarom worden uitgevoerd volgens de regels in hoofdstuk 4 van dit katern. Bij brede grondlichamen kan mogelijk door middel van een afslagbenadering nagegaan worden of het te beschermen gebied bedreigd wordt door overstroming bij maatgevende omstandigheden.

6.2 Faalmechanismen en beoordelingssporen

Volgens de toelichting bij de Wet zijn hoge gronden geografische gegevens en vormen als zodanig geen object van waterstaatszorg. Hoge gronden zullen in de toetsing echter beoordeeld dienen te worden op twee aspecten:

- de aansluiting van primaire waterkeringen aan hoge gronden;
- de borging dat hoge grond 'hoge grond' blijft.

Deze twee gevallen worden behandeld als beoordelingssporen. Het eerste geval wordt aangeduid als Aansluiting op de primaire waterkering HAP (waarbij de H staat voor hoge gronden). Het tweede beoordelingsspoor wordt aangeduid als Achterloopsheid bij hoge gronden HAL. Dit spoor wijkt af van alle andere sporen in dit Voorschrift, omdat niet de waterkeringbeheerder maar de provincie verantwoordelijk is voor de rapportage over dit spoor. Het betreft de controle op ontgroningen in gebieden waar de waterkeringbeheerder geen rol speelt; hier geldt de provinciale taak in het kader van de Ontgroningenwet en de Wet op de Ruimtelijke Ordening.

6.3 Beoordeling

Voordat begonnen wordt met de beoordeling volgens de toetsingsregels in deze paragraaf kan worden nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie hoofdstuk 2 van Katern 2).

6.3.1 *Aansluiting op de primaire waterkering HAP*

Daar waar de primaire waterkering aansluit aan de hoge grond wordt de hoge grond beoordeeld als primaire waterkering. De 'kruinhoogte' van de hoge gronden moet minimaal gelijk zijn aan de kruinhoogte van de primaire waterkering waarop de hoge gronden aansluiten en moet dus worden getoetst volgens de regels voor de kruinhoogte in § 4.1. Een vergelijkbare redenering kan ook opgaan voor een minimaal benodigd profiel uit het oogpunt van geotechnische stabiliteit, zie de beoordelingssporen in § 4.2. In de legger en het beheersregister, opgesteld op basis van de plaatselijke waterstaatkundige situaties, zullen deze overgangssituaties van primaire kering naar hoge grond zijn vastgelegd. Soms zal het daarbij gaan om verholen keringen die reglementair en in de legger zullen worden voortgezet en worden beschermd door middel van de keur tot het punt waar voldoende dekking is verkregen ter bescherming tegen gebruikelijke ingravingen als leidingen, sloten e.d.

6.3.2 *Achterloopsheid bij hoge gronden HAL*

De toetsing op achterloopsheid is van belang om te waarborgen dat een dijkkringgebied omsloten is en blijft. Het betreft het gedeelte van het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit dat niet is aangemerkt als primaire waterkering in de zin van de Wet. Dit is het gebied waar ingrepen, in het bijzonder in de sfeer van de waterbeheersing, tot achterloopsheid van de waterkering kunnen leiden.

Zoals genoemd is niet de waterkeringbeheerder maar de provincie verantwoordelijk voor de toetsing op dit spoor: in de toelichting op de Wet staat, dat de provincie moet waken tegen aantasting van het gesloten stelsel van keringen en hoge gronden door vergraving. Deze provinciale verantwoordelijkheid is in lijn met de Ontgroningenwet. Dit onderdeel van de toetsing moet dus worden uitgevoerd door de provincie en over de toetsresultaten moet door Gedeputeerde Staten worden gerapporteerd. Bij deze toetsing zal de plaatselijke bekendheid van de waterbeheerder (meestal het waterschap), onmisbaar zijn. De feitelijke toetsing beperkt zich in die situatie tot een bewaking op uitvoering van voor achterloopsheid kritische werken op grond van een zorgvuldige informatie-inwinning in het gebied. Als hulpmiddel hierbij kan een hoogtekaart opgesteld worden op basis van de laatste versie van het AHN, waarop in kleur van toepassing zijnde kritieke hoogtelijnen zijn opgenomen. Het is aan de provincie om de kritieke hoogtelijnen vast te stellen.

Samenvattend: de toetsing op het beoordelingsspoor Achterloopsheid bij hoge gronden wordt door de provincie uitgevoerd voor elk deel van het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit dat wordt gevormd door hoge gronden.

Bijlage 5- 1: Partiële factoren macrostabiliteit

Voor stap 3 van de beoordeling op macrostabiliteit binnenwaarts STBI en voor stap 3 van de beoordeling op macrostabiliteit buitenwaarts STBU worden in de stabiliteitsberekeningen factoren toegepast om onzekerheden in rekenmodellen en materiaaleigenschappen en gevolgen van falen te verdisconteren.

De benodigde factoren zijn:

- γ_d Modelfactor of gevoeligheidsfactor: veiligheidsfactor verbandhoudend met het gebruikte rekenmodel;
- γ_m Materiaalfactor: veiligheidsfactor verbandhoudend met materiaaleigenschappen;
- γ_n Schadefactor: veiligheidsfactor verbandhoudend met de gevolgen van falen.

De modelfactor en materiaalfactoren zijn gelijk voor de bepaling van de macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts. De schadefactor verschilt voor beide bepalingen, omdat de gevolgen van macro-instabiliteit van het buitentalud geacht worden minder ernstig te zijn dan de gevolgen van macro-instabiliteit van het binnentalud; macro-instabiliteit van het buitentalud treedt in het algemeen op bij een snel dalende buitenwaterstand, waarbij de kans op overstroming geringer zijn dan bij macro-instabiliteit van het binnentalud dat optreedt bij een hoge buitenwaterstand.

Bij de keuze van de materiaalfactoren dient de bijpassende schadefactor gebruikt te worden en vice versa. Er zijn twee sets materiaal- en schadefactoren. Eén set voor de methode, zoals beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied (LOR1) [2] en 1 set voor de methode zoals beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied (LOR2) [4].

Let op: *de materiaalfactoren voor de methode, zoals beschreven in (LOR1) mogen niet gebruikt worden in combinatie met de schadefactoren voor de methode, zoals beschreven in (LOR2) en vice versa.*

B1.1 Modelfactoren

In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is per rekenmodel aangegeven welke modelfactor moet worden gehanteerd. De modelfactor is onafhankelijk van de methode die toegepast wordt.

B1.2 Materiaalfactoren

In het verleden zijn twee methodes gebruikt voor de bepaling van de macrostabiliteit. Beide zijn toepasbaar, maar de gebruiker dient hierbij altijd de bijbehorende schadefactor (zie § B1.3) te gebruiken. Methode 1 is de methode zoals beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied (LOR1) [2]. Methode 2 is de methode zoals beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied (LOR2) [4].

Kader 5 - B1.1
Grijs gebied

In de praktijk is gebleken dat de bepaling van de macrostabiliteit op grond van sterkte-eigenschappen verkregen uit celproeven tot andere resultaten kan leiden dan de bepaling op grond van sterkte-eigenschappen verkregen uit triaxiaalproeven. Dit is al onderkend bij het opstellen van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16]. Op pagina 116 van [16] wordt de onzekerheid in de verschillen tussen het gebruik van beide methodes aangeduid als een 'grijs gebied'.

In [16] is vermeld dat onderzoek gaande is om het grijze gebied nader in te vullen. Dit onderzoek heeft geleid tot een nieuwe set materiaal- en schadefactoren die gepresenteerd wordt in een addendum op [16] dat verschijnt in het kader van de in 2007 uit te brengen Leidraad Rivieren. Doordat deze nieuwe set materiaal- en schadefactoren niet vastgesteld was ten tijde van het opstellen van dit voorschrift, is voor dit voorschrift uitgegaan van de sets materiaal- en schadefactoren, zoals gegeven in deze bijlage. Zodra het addendum bij [16] verschijnt, kan hiervan gebruik gemaakt worden in de geavanceerde beoordeling.

De materiaalfactoren bij methode 1, zoals beschreven in LOR1 zijn gegeven in Tabel 5 - B1. 1 en de materiaalfactoren bij methode 2, zoals beschreven in LOR2 zijn gegeven in Tabel 5 - B1. 2. De factor γ_{m1} wordt gebruikt om verschillen tussen de beproevingsmethodes te verdisconteren en γ_{m2} wordt gebruikt om onzekerheden te verdisconteren die voortvloeien uit onder andere de beschrijving van het materiaalgedrag aan de hand van de parameters in een geschematiseerd grondmodel.

Tabel 5 - B1.1
Materiaalfactoren methode 1 (LOR 1)

Parameter		γ_{m1}	γ_{m2}	$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2}$
volumieke massa - natuurlijk/droog	$(\sigma_{nat}, \sigma_{dr})$	1,0	1,0	1,0
inwendige wrijving	$(\tan \varphi')$			
• zand (CP)		1,0	1,15	1,15
(TP-CD)		1,0	1,15	1,15
• klei (CP)		1,0	1,15	1,15
(TP-CU-5%)		1,05	1,15	1,15
(TP-CU)		1,1	1,15	1,15
• veen (CP)		1,0	1,2	1,2
(TP-CU-5%)		1,05	1,2	1,2
(TP-CU)		1,1	1,2	1,2
cohesie	(c')	1,0	1,3	1,3
samendrukkingsconstanten				
• Terzaghi	(C, A)	1,0	1,1	1,1
• Buisman- Koppejan	(C_p, C_s)	1,0	1,1	1,1

* CP = celproef;
 TP-CD = triaxiaalproef, geconsolideerd en gedraineerd;
 TP-CU = triaxiaalproef, geconsolideerd en ongedraineerd;
 TP-CU-5% = triaxiaalproef, geconsolideerd en ongedraineerd met maximaal 5% vervorming.

Tabel 5 - B1. 2
Materiaalfactoren methode 2 (LOR 2)

Parameter		γ_{m1}	γ_{m2}	$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2}$
volumieke massa - natuurlijk/droog	$(\sigma_{nat}, \sigma_{dr})$	1,0	1,0	1,0
inwendige wrijving	$(\tan \phi')$			
• zand (CP)		1,0	1,10	1,10
(TP-CD)		1,0	1,10	1,10
• klei (CP)		1,0	1,10	1,10
(TP-CU-5%)		1,05	1,10	1,15
(TP-CU)		1,1	1,10	1,20
• veen (CP)		1,0	1,15	1,15
(TP-CU-5%)		1,05	1,15	1,20
(TP-CU)		1,1	1,15	1,25
cohesie	(c')	1,0	1,25	1,25
ongedraineerde sterkte	(c_u)	-	-	-
Glijdingsmodulus	(G)	1,0	1,2	1,2
samendrukkingsconstanten		1,0	1,1	1,1
doorlatendheid	(k)	1,0	1,25	1,25
consolidatiecoëfficiënt	(c_v)	1,0	1,25	1,25

B1. 3 Schadefactoren

De schadefactoren verschillen voor de bepaling van macrostabiliteit binnenwaarts STBI en macrostabiliteit buitenwaarts STBU ten gevolge van de correlatie van optreden van het mechanisme met hoogwater. Voor binnenwaartse macrostabiliteit is sprake van correlatie met hoogwater (grootste kans van optreden bij hoogwater), voor buitenwaartse macrostabiliteit niet (grootste kans van optreden bij een snel dalende waterstand/ vallend water).

De schadefactoren bij methode 1, zoals beschreven in LOR1 zijn gegeven in Tabel 5 - B1. 3 en de schadefactoren bij methode 2, zoals beschreven in LOR2 zijn gegeven in Tabel 5 - B1. 4.

Tabel 5 - B1. 3
Schadefactoren methode 1 (LOR1)

Wettelijke norm [1/jr]	Schadefactor $[\gamma_n]$	
	Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)
1/10.000	1,16	1,09
1/4.000	1,13	1,07
1/2.000	1,11	1,05
1/1.250	1,10	1,03
1/500	1,07	1,00
1/250	1,05	0,98

Tabel 5 - B1. 4
Schadefactoren methode 2 (LOR2)

Wettelijke norm [jr]	Schadefactor [γ_n]	
	Macrostabiliiteit binnenwaarts (STBI)	Macrostabiliiteit buitenwaarts (STBU)
1/10.000	1,21	1,14
1/4.000	1,18	1,12
1/2.000	1,16	1,10
1/1.250	1,15	1,08
1/500	1,12	1,05
1/250	1,10	1,03

Katern 6

Duinen

1 Inleiding

1.1 Definitie en afbakening

1.1.1 Duinen

Duinen zijn door de natuur gevormde, min of meer aansluitende zandlichamen langs de kust. Als primaire waterkering ontlenen zij hun sterkte aan de hoeveelheid zand waaruit ze zijn opgebouwd en aan hun geometrie. De hoeveelheid zand is onderhevig aan fluctuaties als gevolg van erosie en aanwas door hoge waterstanden, golven en stroming enerzijds (hydraulische krachten) en door wind anderzijds (eolische krachten). Begroeiing van de duinen biedt weerstand tegen de vervormingen door wind en vangt door wind aangevoerd sediment op. Soms zijn de duinen kunstmatig versterkt, bijvoorbeeld door herprofilering, helmaanplant of een duinvoetverdediging.

De sterkte van de duinen wordt mede bepaald door het daar voor liggend strand en de onderwateroever. In feite is het totale zandvolume in duinen, strand en vooroever de belangrijkste sterkteparameter. Sinds de jaren '80 van de vorige eeuw wordt vanuit dit besef het kustprofiel vaak versterkt met zandsuppleties, soms tegen het duin aan, maar vooral op het strand (strandsuppletie) of de vooroever (vooroeversuppletie).

De Leidraad Zandige Kust [25] maakt bij het indelen van het dwarsprofiel van de kust gebruik van een drietal invalshoeken, te weten een fysisch-geografische, een waterkeringtechnische en een juridische 'laag'. Figuur 6 - 1.1 is overgenomen uit [25] en geeft de samenhang tussen deze lagen.

De fysisch-geografische laag is ingegeven door de verschijningsvorm van het profiel; hiervan is in Figuur 6 - 1.1 van zee naar land achtereenvolgens aangegeven:

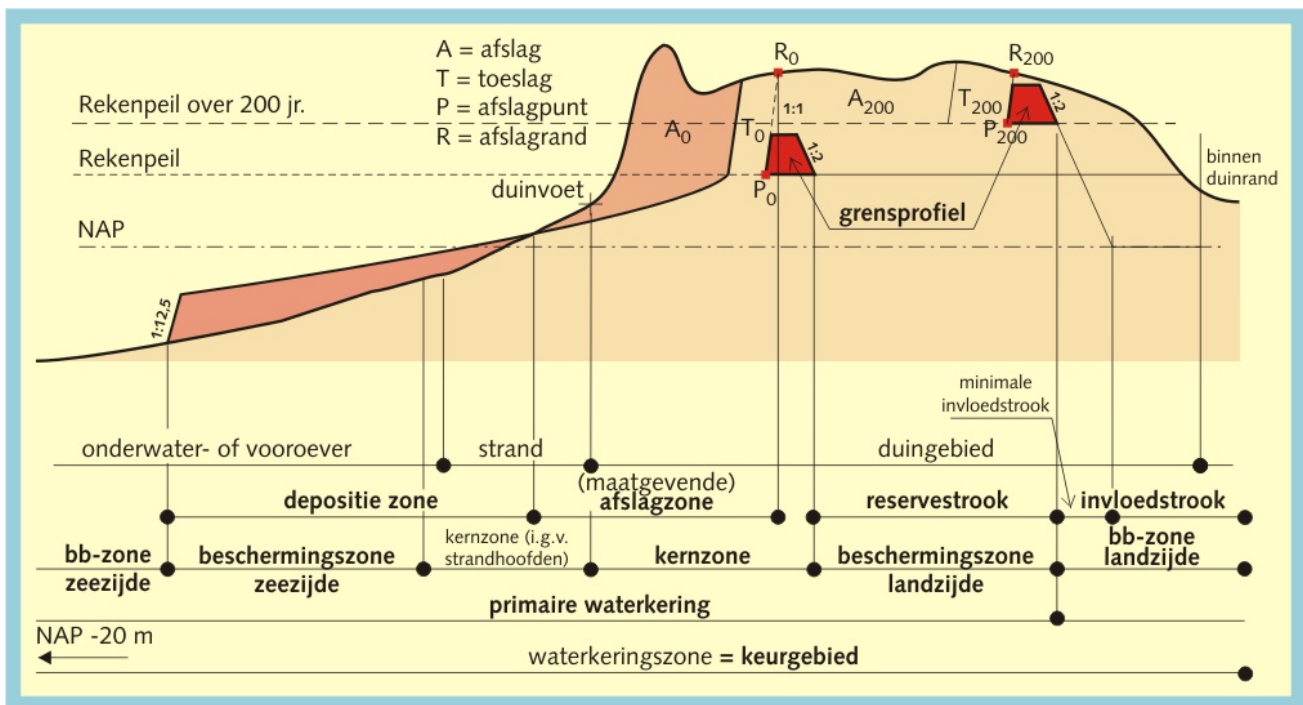
- de onderwater- of vooroever tot ongeveer de laagwaterlijn;
- het strand tot de duinvoet;
- het duingebied.

De waterkeringtechnische laag is ingegeven door het afslag- en doorbraakmechanisme te beschouwen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen afslag onder de huidige maatgevende omstandigheden en onder de maatgevende omstandigheden over 200 jaar. Van deze laag is aangegeven:

- de depositiezone;
- de afslagzone;
- de reservestrook;
- de invloedsstrook.

Figuur 6 - 1.1

Definitieschets kustprofiel (gebaseerd op [25])



De juridische laag ten slotte wordt ingegeven door het beheer van de waterkering. In deze laag wordt onderscheid gemaakt tussen:

- de bb-zone zeezijde (buitenbeschermingszone zeezijde) die vanaf ongeveer een diepte van NAP - 20 m tot maximaal de depositiezone loopt;
- de beschermingszone zeezijde, vanaf de buitenzijde van de depositiezone tot de duinvoet of de teen van eventueel aanwezige strandhoofden;
- de kernzone, vanaf de duinvoet tot en met het grensprofiel (wordt later uitgelegd) met eventueel een apart zeewaarts stuk in geval van de aanwezigheid van strandhoofden;
- de beschermingszone landzijde; dit is de strook vanaf het grensprofiel tot en met het fungerende grensprofiel bij een Rekenpeil over 200 jaar en is in feite gelijk aan de waterkeringstechnische reservestrook;
- de bb-zone landzijde (buitenbeschermingszone landzijde).

De zeewaartse beheergrens van de waterkering is gelegen op 'diep' water; dit is ongeveer op NAP - 20 m bij een geleidelijk aflopende kust. Wanneer er sprake is van een uitgesproken bankenpatroon vormt het midden van de hoofdgeul voor de kust de zeewaartse beheersgrens van de waterkering.

De landwaartse beheergrens, dus de landwaartse begrenzing van de keurzone, is veelal de landwaartse begrenzing van de duinen maar niet altijd. Bij brede duinen kan dit wel het geval zijn, maar bij smalle duinen kan de landwaartse beheergrens gevormd worden door de landwaartse begrenzing van de reservestrook of zelfs de landwaartse begrenzing van de kernzone (in dit geval de landwaartse begrenzing van het grensprofiel). Bij brede duinen kan volstaan worden met een ruime waterkeringstrook, waarbij het achterliggende deel van de duinen geen onderdeel van de waterkering uitmaakt.

Juridisch gezien dient bescherming tegen overstromingen te worden geboden voor het gebied landwaarts van het keurgebied en wel volgens het in de Wet [1] voorgeschreven veiligheidsniveau.

Voor de beoordeling van de zandige waterkering is vooral de positie van de punten P en R belangrijk; punt P valt daarbij samen met het snijpunt van het Rekenpeil met het afslagprofiel. Alvorens dit snijpunt vast te leggen wordt eerst het afslagvolume boven Rekenpeil A vermeerderd met een toeslag T. De ligging van punt R, als doorsnijding van het nieuwe duinfront en het oorspronkelijke maaiveld is voor het beheer van de waterkering het meest van belang. Dit punt speelt dan ook een grote rol in de verdere uitwerkingen. De toegepaste indices refereren aan het tijdstip van het geldende Rekenpeil en bijbehorende condities. De '0' staat voor de huidige situatie, de '200' geeft de (geschatte) situatie over 200 jaar aan.

In Figuur 6 - 1.1 is ook een zogenaamd standaard grensprofiel aangegeven, en wel op twee plaatsen. In essentie is de gedachte achter een dergelijk grensprofiel dat er nog enig extra zandvolume aanwezig moet zijn om te voorkomen dat de waterkering, door niet in rekening gebrachte processen (bijvoorbeeld golfoverslag), alsnog bezwijkt en doorbreekt. Dit extra volume dient zich landwaarts te bevinden van de bij de toetsing berekende afslag.

In essentie is de gedachte dat bij duinafslag onder maatgevende omstandigheden, er nog een zeker (tamelijk minimaal) restprofiel in stand moet blijven dat een feitelijke doorbraak van de kering en daarmee de overstroming van het achterland voorkomt.

Het ene grensprofiel ligt op het Rekenpeil van nu, en wordt bepaald door de maatgevende afslag van 'heden'. Het tweede grensprofiel ligt op een hoger Rekenpeil en wordt bepaald door de maatgevende afslag over 200 jaar, rekening houdend met een ongunstig scenario voor zeespiegelstijging en klimaatverandering (het zogenaamde maximumscenario).

Het grensprofiel moet in langsrichting gezien doorlopend en ononderbroken zijn. Alleen dan kan het een waterkerende functie vervullen. Overigens kan het ook vanuit andere overwegingen dan veiligheid wenselijk zijn een doorgaande zeereep in stand te houden terwijl er toch meerdere duinenrijen aanwezig zijn en het grensprofiel meer landwaarts ligt. Dit wordt overgelaten aan de beheerder en niet expliciet in een toetschema uitgewerkt.

In het gedeelte van de duinen dat tot de primaire waterkering wordt gerekend, kunnen objecten aanwezig zijn die niet expliciet tot doel hebben de waterkerende functie van de duinen te versterken. Het beoordelen van de veiligheid van dergelijke niet-waterkerende objecten (de zogenaamde NWO's) zélf valt buiten het kader van dit Voorschrift. Wel vindt er een toets plaats of de aanwezigheid van NWO's de sterkte van de waterkering in gevaar kan brengen.

1.1.2 Aansluitingsconstructies

Een aansluitingsconstructie bij duinen dient om duinen in langsrichting op waterkeringen van een ander type te laten aansluiten. Zoals in § 2.5 van dit katern (en in overeenstemming met Leidraad Zee- en Meerdijken [13]) is aangegeven wordt in dit verband onder een aansluitingsconstructie verstaan dat gedeelte van de aansluitende 'harde' waterkering dat een aangepast dwarsprofiel en/of lengteprofiel heeft om de aansluiting zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen. In dit katern gaat het om de volgende types aansluitingen (zie Figuur 6 - 1.2):

- Type I : een onverdedigd duin aan een dijk;
- Type II : een onverdedigd duin aan een verdedigd duin;
- Type III : een verdedigd duin aan een dijk.

Andere combinaties komen niet voor, waarbij opgemerkt wordt dat de aansluiting tussen een duin en een kunstwerk in het algemeen als dijk wordt uitgevoerd. Er is dan dus sprake van een aansluiting duin - dijk (zie boven) en dijk - kunstwerk (zie Katern 7).

De aansluiting van een duin aan een dijk (Type I) is een overgang van een zachte waterkering (duin) naar een harde waterkering (dijk). De aanduiding 'hard' is hierbij relatief bedoeld, namelijk hard ten opzichte van het aansluitende zachte duin. In deze zin is de aansluiting van een onverdedigd duin aan een duin met duinvoetverdediging (Type II) ook een aansluitingsconstructie van een zachte naar harde kering. In dit verband kan de overgang van een verdedigd duin (duinvoetverdediging) naar een dijk (Type III) worden aangeduid als een overgang van een 'minder harde' naar een harde verdediging.

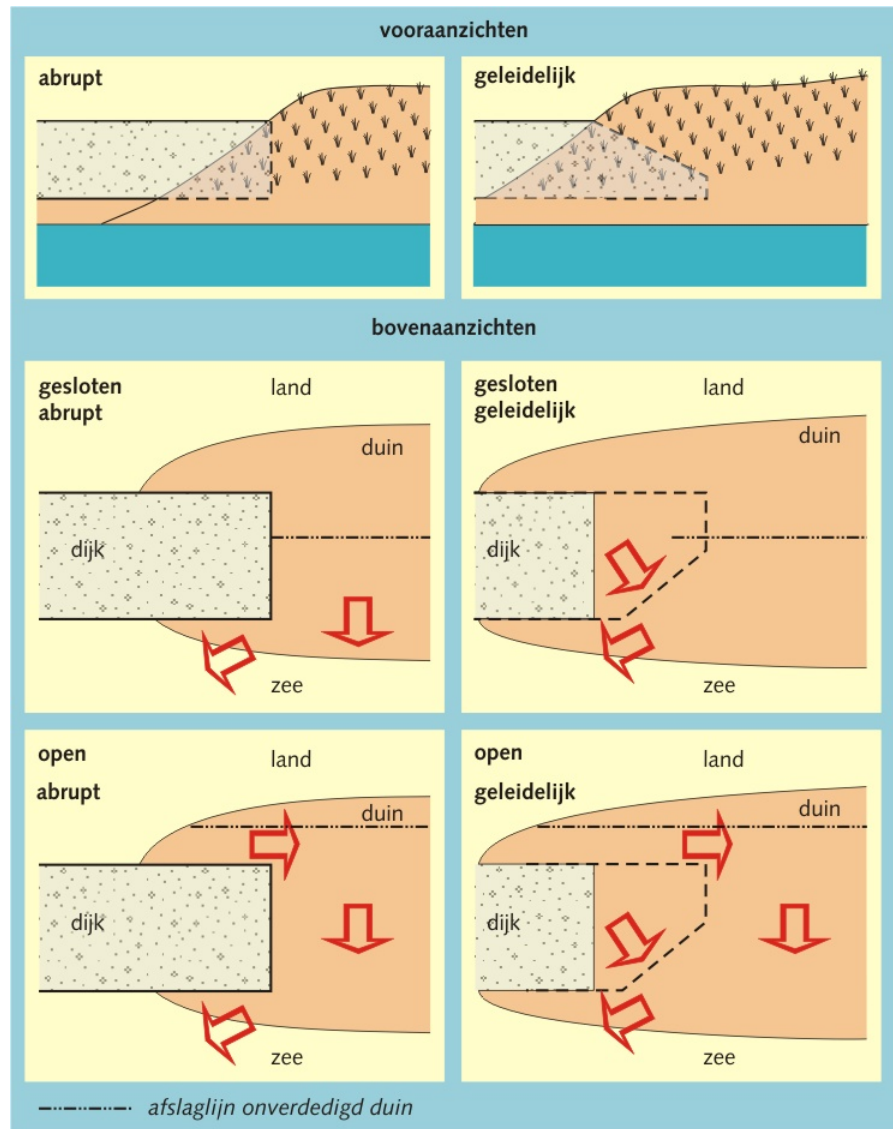
Aansluitingsconstructies kunnen verschillend worden gekenmerkt. Allereerst wordt onderscheid gemaakt tussen een open of een gesloten beëindiging. Dit wordt bepaald door de ligging van de afslaglijn van het aansluitende duin. Bij een gesloten aansluitingsconstructie ligt deze afslaglijn zeewaarts van de achterzijde (landwaartse zijde) van de aansluitende harde waterkering. Bij een open aansluitingsconstructie is dit niet zo en kan de constructie bij duinafslag onder maatgevende omstandigheden door golfaanval worden achterspoeld.

Ten tweede wordt er onderscheid gemaakt in verschillende uitvoeringen in langsrichting. De aansluitende profielen kunnen direct tegen elkaar aanliggen zonder enige aanpassing in profielvorm. We spreken dan van een abrupte overgang. Veelal zal de overgang van het ene kustprofiel in het andere echter geleidelijk verlopen, waarbij het harde profiel over een bepaalde afstand in langsrichting wordt aangepast richting onverdedigd duin. We spreken dan ook van een geleidelijke overgang. Puur abrupte overgangen komen in feite niet voor, er is altijd wel enige vorm van aanpassing van de harde constructie.

Bij een geleidelijke overgang is de lengte van de aansluitingsconstructie gelijk aan de lengte waarover in de harde constructie (dijk) profielaanpassingen zijn aangebracht met het oog op de overgang.

Figuur 6 - 1.2 toont enige principevoorbeelden van Type I. De pijlen geven de richting van zandtransport aan tijdens duinafslag onder maatgevende omstandigheden. In de regel zal er naast afslag vanaf het duin in zeewaartse richting, ook zand verplaatsen van het onverdedigde duin richting de zeezijde van de harde constructie. In geval van een open constructie zal er mogelijk zelfs transport plaatsvinden vanaf de landzijde van de harde constructie richting het onverdedigde duin. Verder is het ook zo dat er aan weerszijden van de aansluitingsconstructie sprake zal zijn van een zekere invloed van de aansluitingsconstructie op het aanwezige kustprofiel. Het gebied waarover van een dergelijke beïnvloeding sprake is noemen we aansluitingszone. Buiten de aansluitingszone is er geen beïnvloeding en is er sprake van een ongestoorde situatie. De specifieke mechanismen die een rol spelen bij de toetsing van aansluitingsconstructies worden besproken in § 1.2.2. van dit katern.

Figuur 6 - 1.2
Principevoorbeelden aansluitingsconstructies
Type I



1.2 Faalmechanismen en beoordelingssporen

1.2.1 Duinen

Tijdens een storm wordt het duin belast door de aanval van hoge waterstanden, golven, stroming en wind. Deze belasting veroorzaakt afslag van het duin waarbij het zand dat van het duin afslaat veelal lager in het profiel, dus in dieper water, weer wordt afgezet. Dit resulteert in een landwaartse verplaatsing van de duinvoet (de overgang van het tamelijk vlakke strand naar het meest zeewaarts gelegen duin). Hiermee verplaatst ook het afslagpunt (het snijpunt van het nieuwe afslagfront met het duin na de afslag bij de maatgevende storm) in landwaartse richting. De strook duin die hierbij afslaat heet afslagzone. In sommige gevallen is de duinvoet versterkt met een duinvoetverdediging met als doel de hoeveelheid duinafslag tijdens een storm te verminderen. Dit laatste geldt veelal alleen voor stormvloed die lager zijn dan de maatgevende omstandigheden. Opgemerkt wordt dat na een storm met duinafslag veelal (gedeeltelijk) herstel optreedt door het geleidelijk aanstuiven van de duinvoet. Hiermee verplaatst de duinvoet zich dus weer in zeewaartse richting.

Tijdens het proces van duinafslag kan het duin aan de landwaartse zijde eroderen door de werking van wind (winderosie) waardoor het voor duinafslag beschikbare volume zand vermindert. Uiteindelijk bepaalt de duur en intensiteit van de storm de mate van duinafslag. De storm waarop het duin berekend moet zijn wordt aangeduid met maatgevende storm. De hierbij behorende afslagzone (tot het afslagpunt R op het maaiveld) wordt maatgevende afslagzone genoemd (zie Figuur 6 - 1.1).

Na de maatgevende storm is dus in theorie de maatgevende afslagzone verbruikt. Als dit precies het aanwezige duinprofiel zou beslaan, zou in principe na de maatgevende storm het achterliggende gebied overstromen. Om dit te voorkomen wordt als eis gesteld dat er landwaarts van het berekende afslagfront minimaal nog een zogenaamd grensprofiel in het duin moet overblijven om deze overstroming te voorkomen (zie ook Figuur 6 - 1.1). In het Technisch Rapport Duinafslag [49] zijn de maten van een standaard grensprofiel voorgeschreven. Hierbij is ook de mogelijkheid gegeven om met andere vormen van dit profiel te rekenen. Hierbij geldt echter dat het volume boven Rekenpeil bij een dergelijke afwijkende vorm minimaal gelijk moet zijn aan dat van het standaard grensprofiel.

Het grensprofiel moet dis gevrijwaard blijven van afslag. Verder worden er ten aanzien van de effecten van wind ook, via een eenvoudige toets, eisen gesteld aan begroeiing van dit deel van het duinprofiel.

Als gevolg van klimaatverandering is er waarschijnlijk sprake van versnelde zeespiegelstijging. Dat betekent dat het Rekenpeil in de loop van de tijd hoger zal komen te liggen. Teneinde de effecten hiervan op te vangen wordt in het duinprofiel een reservestrook gedefinieerd. De benodigde breedte van deze strook kan worden bepaald door enerzijds het landwaartse snijpunt van het grensprofiel met het Rekenpeil op peildatum en anderzijds ditzelfde snijpunt voor een grensprofiel dat verder landwaarts ligt op het Rekenpeil na 200 jaar. De op deze wijze vastgestelde omvang van de reservestrook is aangegeven in Figuur 6 - 1.1. Ook kan alle in het duin aanwezige ruimte worden gereserveerd door het grensprofiel tegen de achterzijde van het duin te positioneren.

Opgemerkt wordt dat de reservestrook geen expliciete rol speelt bij het beoordelen van de duinen. Indirect is dit wel het geval omdat met het oog op winderosie ook landwaarts van het grensprofiel op peildatum wordt gekeken.

De zone die het grensprofiel beslaat, inclusief de verticale strook daarboven dient in principe te blijven gevrijwaard van bebouwing en andere niet-waterkerende objecten inclusief hun verstoringengebied. Veelal zijn er kabels en leidingen die het grensprofiel kruisen of snijden. In dergelijke gevallen is er (mogelijk) sprake van beïnvloeding van de kustmorfologie. Hier zal bij de toetsing rekening mee dienen te worden gehouden. Om het probleem van bestaande bebouwing in het grensprofiel te voorkomen kan worden bezien of een ander 'tracé' in een 'vrije' duinenstrook kan worden gekozen voor het grensprofiel. Procedureel gezien moet dan een leggerwijziging plaatsvinden. Is dit niet het geval, wat vaak zal voorkomen, dan wordt nader beschouwd of het bebouwde grensprofiel als zodanig kan functioneren of dat dit niet zo is. In dit laatste geval wordt dus niet voldaan aan de eisen ten aanzien van de faalkans van de waterkering.

Met het oog op bovengenoemde eigenschappen van het duin en de mechanismen die leiden tot vermindering van de sterkte en mogelijk tot een doorbraak (faalmechanismen), worden de volgende drie hoofdsporen vastgesteld voor de beoordeling van duinen:

- Duinafslag DA;
- Winderosie WE;
- Niet-waterkerende objecten NWO.

Het belangrijkste beoordelingsspoor is Duinafslag; eerst wordt getoetst of er voldoende zand in het duinprofiel aanwezig is om de maatgevende stormomstandigheden te kunnen weerstaan. Hierbij wordt rekening gehouden met een eventueel aanwezige duinvoetverdediging.

Het tweede beoordelingsspoor is Winderosie; de begroeiing is daarbij een belangrijke parameter. Het oppervlak, de dichtheid en de vitaliteit van aanwezige begroeiing bepalen in feite de mate waarin het duin bestendig is tegen winderosie gedurende en na de maatgevende stormomstandigheden. Binnen dit Voorschrift is alleen een eenvoudige toets opgenomen ten aanzien van de effecten van winderosie op de duinflank landwaarts van het grensprofiel.

Ten slotte dient te worden beoordeeld of eventuele bebouwing, kabels en leidingen of ander niet-waterkerende objecten inclusief hun verstoringsgebied in het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel de veiligheid negatief beïnvloeden. Dit is het beoordelingsspoor Niet-waterkerende objecten.

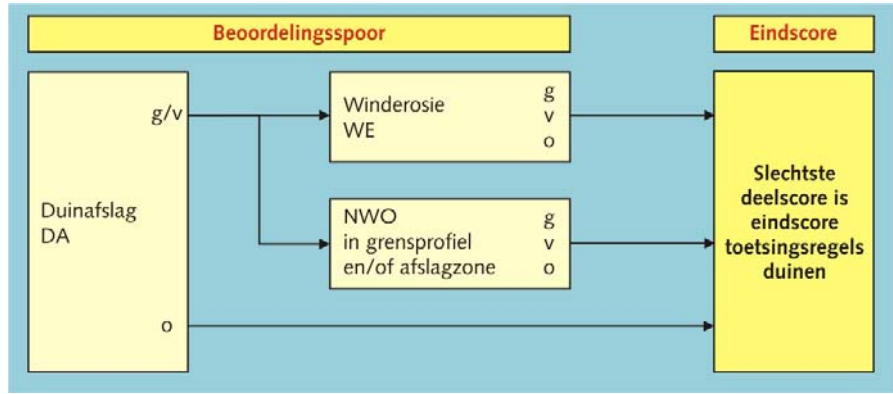
De beoordelingswijze per sectie is beschreven in § 2.1 van Katern 2 (zie Figuur 2 - 2.2), inclusief de plaats van het beheerdersoordeel hierin. Het beheerdersoordeel wordt behandeld in hoofdstuk 6 van Katern 2.

Figuur 6 - 1.3 is het hoofdschema voor de beoordeling van duinen. Hoofdschema's geven een overzicht van de beoordelingssporen die moeten worden doorlopen en de manier waarop de eindscore wordt bepaald. Zoals besproken worden duinen in principe langs drie sporen getoetst en is de slechtste score bepalend voor de eindscore van de duinen. De toetsing op Duinafslag moet worden uitgevoerd vóór de toetsing op Winderosie omdat de resultaten van de toetsing op Duinafslag hiervoor nodig zijn. De toetsing op Duinafslag moet ook worden uitgevoerd vóór de toets op NWO's in het grensprofiel en/of afslagzone als het grensprofiel nog niet is vastgelegd of als er een wijziging van de ligging van het grensprofiel wordt overwogen. De eindscore is alleen 'goed' als alle deelscores 'goed' zijn. Als bijvoorbeeld de score op duinafslag 'voldoende' is, en de overige scores 'goed', is de eindscore 'voldoende'.

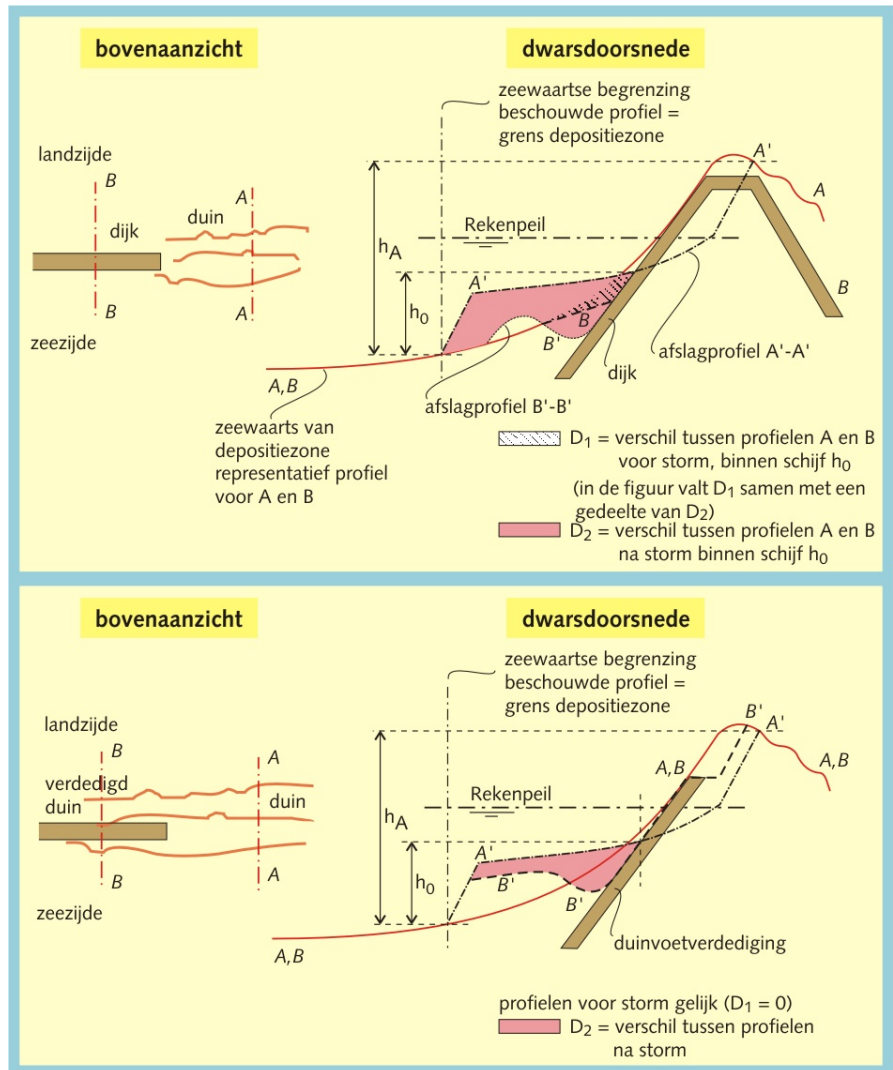
1.2.2 Aansluitingsconstructies

Bij de beoordeling van het gedrag van een aansluitingsconstructie wordt uitgegaan van het gedrag van het onverdedigde duin onder maatgevende omstandigheden. Dat wil zeggen dat wordt uitgegaan van het maatgevende afslagprofiel van het onverdedigde duin, gebaseerd op de procedure in het Technisch Rapport Duinafslag [49]. De 'hardheid' van de aansluitingsconstructie wordt bepaald door de mate waarin deze het proces van duinafslag en daarmee de toevoer van zand naar strand en voorover belemmert. Deze belemmering, die wordt aangeduid met 'onthouden zandvolume', is maximaal bij een dijkachtige constructie; bij een lage duinvoetverdediging of een verborgen kering is deze beïnvloeding duidelijk geringer.

Figuur 6 - 1.3
Hoofdschema voor de beoordeling van duinen

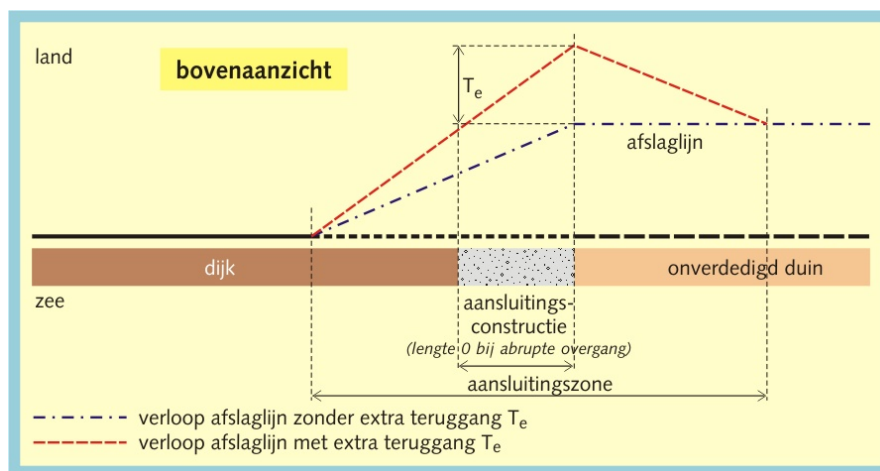


Figuur 6 - 1.4
Onthouden zandvolume bij de aansluiting van een duin aan een dijk (bovenste figuur) en aan een verdedigd duin (onderste figuur), min of meer in elkaars verlengde



Figuur 6 - 1.4 toont het onthouden zandvolume bij de aansluiting van een duin aan respectievelijk een dijk (bovenste figuur) en een verdedigd duin (onderste figuur). Zoals toegelicht in § 1.2.1 van dit katern vormt zich tijdens de maatgevende storm bij het onverdedigd duin een afslagprofiel, waarbij de vooroever wordt opgehoogd met afgeslagen duinzand. Indien in een naastliggend profiel een harde constructie aanwezig is, zoals een dijk of een duinvoetverdediging, dan zal deze constructie beletten dat de vooroever wordt aangevuld tot een vergelijkbaar niveau als bij het onverdedigde duin. In dit geval zal zich een ontgrondingskuil ontwikkelen met voor de constructie dus een lager bodemniveau dan in het ongestoorde dwarsprofiel. Het natuurlijke effect is dan dat het tekort in het dwarsprofiel met de harde constructie (zandvraag) zal worden gecompenseerd door zandaanvulling vanuit het naastliggende onverdedigde duin (zandaanbod). Het gevolg is dat hier extra afslag plaatsvindt. De extra afslag wordt uitgedrukt in een extra teruggang T_e van het onverdedigde duin direct naast de aansluitingsconstructie (zie Figuur 6 - 1.5).

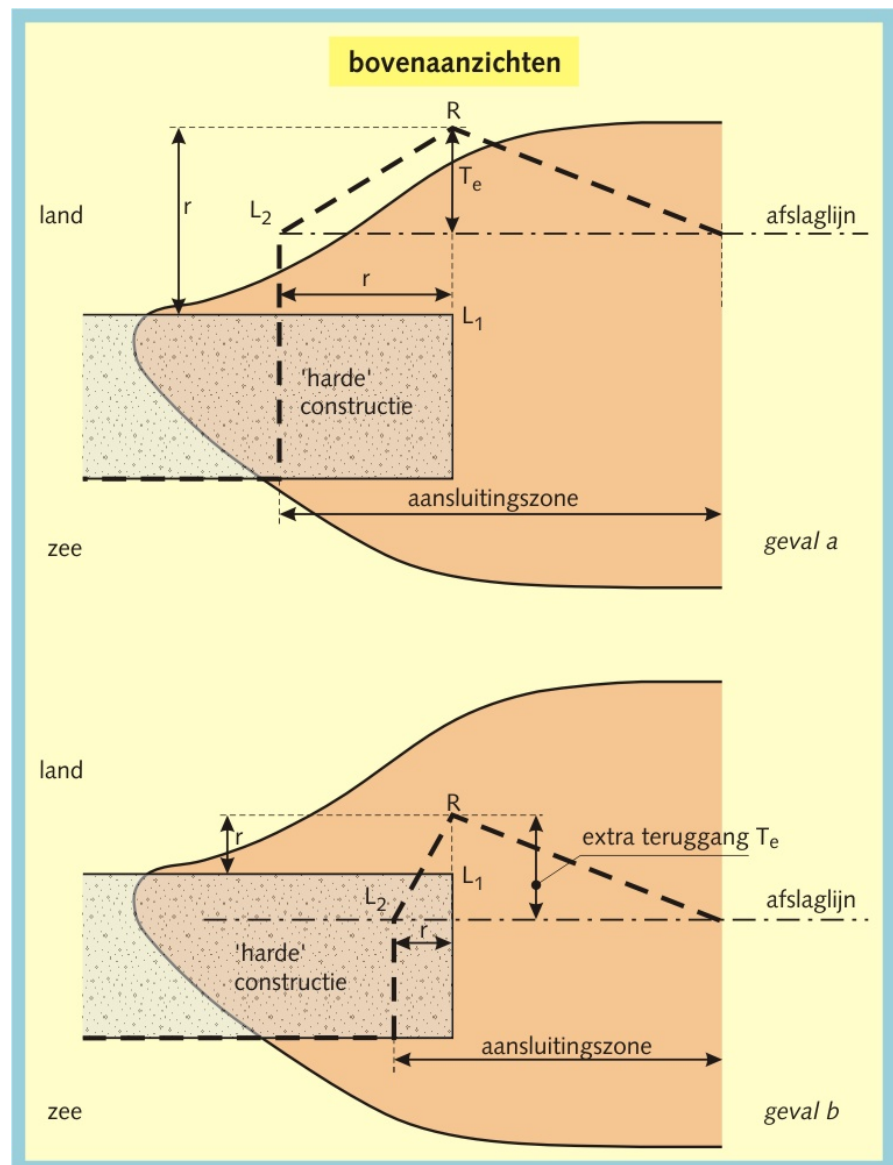
Figuur 6 - 1.5
Extra teruggang T_e



De positie van de afslaglijn voor het onverdedigde duin kan worden bepaald aan de hand van de in het Technisch Rapport Duinafslag [49] beschreven procedure. De extra teruggang T_e dient te worden bepaald op basis van twee momentane profielen, namelijk dat van het duin en dat van de dijk (met voorliggend strand) of het verdedigde duin. Omdat het resultaat van deze uitwerking natuurlijk afhankelijk is van het gebruikte dwarsprofiel en daarmee ook van het opnamejaar, dient deze uitwerking vooral plaats te vinden voor een recent, relatief zwak jaar die qua kustlijnligging nog net voldoet aan de minimaal gegarandeerde maat. Met andere woorden: de zogenaamde Momentane KustLijn (de MKL) van het gekozen jaar dient zo goed mogelijk overeen te komen met de vastgestelde BasisKustLijn (de BKL). De zone waarin deze processen van extra zandvraag en -aanbod zich afspelen wordt de aansluitingszone genoemd, zie § 1.1.2 van dit katern. De aansluitingszone wordt begrensd door doorsneden die niet meer worden beïnvloed door een discontinuïteit in de lengterichting. De aansluitingszone strekt zich in het algemeen uit over een afstand van 100 tot 200 m aan weerszijden van de aansluitingsconstructie.

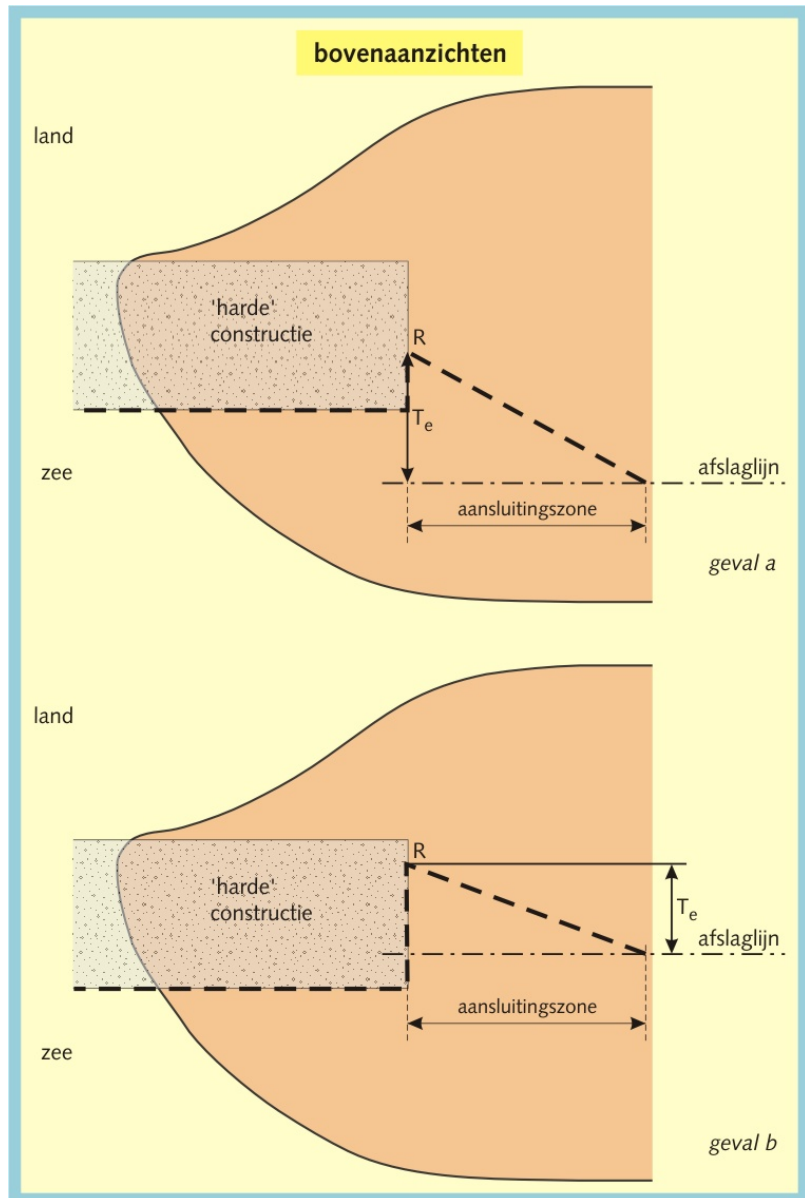
Duinafslag in het onverdedigde duin naast de aansluitingsconstructie kan leiden tot de afslag van zand van achter de aansluitingsconstructie: de aansluitingsconstructie wordt dan achterloops. Dit is het geval bij open aansluitingsconstructies, waarbij dus de afslaglijn van het naastliggende onverdedigde duin landwaarts ligt t.o.v. de achterzijde van de aansluitingsconstructie en het materiaal achter de constructie voldoende erodeerbaar is. Hierbij dient de extra teruggang T_e van de afslaglijn ook te worden beschouwd. Een op het eerste gezicht gesloten aansluitingsconstructie waarbij de afslaglijn van het naastliggende ongestoorde en onverdedigde duinprofiel niet achter de achterzijde van de aansluitingsconstructie reikt, kan in feite toch een open aansluitingsconstructie zijn, namelijk als de extra teruggang T_e alsnog tot achter de aansluitingsconstructie reikt. In principe is er door een dergelijke achterloopsheid extra zand beschikbaar voor het naastliggende duinprofiel. In zijn totaliteit is er dus ook meer zand beschikbaar voor de compensatie van het tekort aan zand in het aansluitende verdedigde profiel waar sprake is van zandonthouding, zoals hiervoor werd beschreven. Met andere woorden, het onthouden zandvolume A_{ont} wordt deels aangevuld met deze extra afslag van achter de aansluitingsconstructie. Dit betekent op zijn beurt dat de extra teruggang T_e van de afslaglijn in feite kleiner wordt in die gevallen waarbij er sprake is van een open aansluitingsconstructie.

Figuur 6 - 1.6
Bepaling r bij open aansluitingsconstructie



Als veilige benadering voor de teruggang van het naastliggende duin als gevolg van de aansluitingsconstructie wordt de extra teruggang aangehouden die optreedt bij een gesloten beëindiging, dus zonder zijdelingse toevoer van zand van achter de aansluitende harde constructie. Bepalend voor de grootte van de toelevering van materiaal is de afstand tussen het afslagpunt R (dat dus over een afstand T_e verschoven is als gevolg van de naastliggende harde constructie) en de landwaartse achterkant van de eindconstructie (punt L_1). Deze afstand wordt bepaald op het niveau van het Rekenpeil en is linksboven in Figuur 6 - 1.6 aangegeven met r (dus $r = RL_1$). De contouren van de harde constructie zijn dus aangegeven op Rekenpeil. Voor het verloop in langsricting langs de kust van de extra achteruitgang wordt dezelfde lengte r aangehouden, gemeten langs de niet-verschoven afslaglijn, waarbij de achteruitgang van punt R lineair naar 0 afneemt in punt L_2 . Theoretisch geredeneerd loopt de afslaglijn vervolgens naar de zeezijde van de harde constructie (op Rekenpeilniveau) om vervolgens in feite te worden bepaald door de harde constructie zelf. Dit is met een streeplijn in de figuur aangegeven. Samengevat wordt de extra achteruitgang T_e bij een open eindconstructie dus bepaald zonder rekening te houden met de reducerende werking van extra aanvoer van achter de aansluitende constructie.

Figuur 6 - 1.7
Verschuiving afslaglijn bij gesloten aansluitingsconstructie

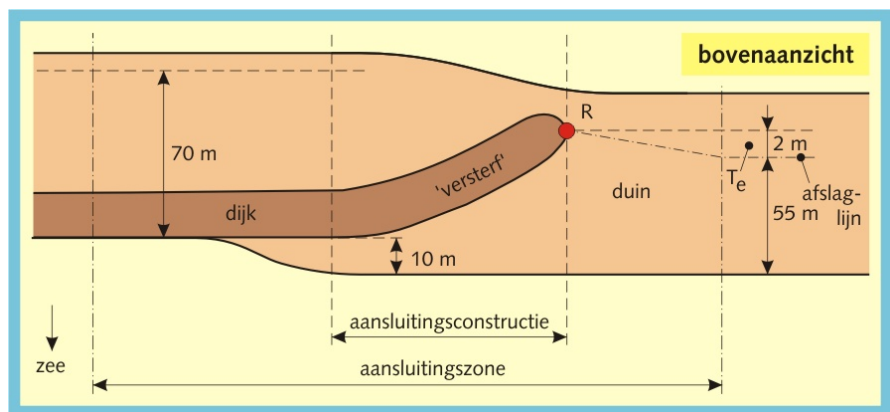


Voor de volledigheid geeft Figuur 6 - 1.7 het verloop van de afslaglijn bij een 'echte' gesloten eindconstructie. Punt R ligt hierbij niet landwaarts van de aansluitende constructie. Ook deze figuur laat twee mogelijke liggingen zien van de afslaglijn t.o.v. de harde constructie. Figuur a toont het geval waarbij de afslaglijn zeewaarts van de harde constructie loopt, figuur b het geval waarbij de afslaglijn tegen de harde constructie aan loopt. Maar in beide gevallen is en blijft de aansluiting van het type gesloten. Ook is in beide figuren weer het theoretische vervolg van de afslaglijn langs de harde constructie aangegeven met een streeplijn.

Naast het gegeven dat een harde constructie een bepaald volume zand onthoudt dat bij een onverdedigd duin voor afslag beschikbaar zou zijn, is de stabiliteit en sterkte van de harde constructie zelf uiteraard ook van belang. Dit wordt getoetst aan de hand van Katern 5 (Dijken en dammen) en Katern 8 (Bekledingen).

Een ontwerpvoorbeeld van een aansluitingsconstructie wordt gegeven Figuur 6 - 1.8 (figuur B7.2.5 uit Leidraad Zee- en Meerdijken [13]).

Figuur 6 - 1.8
 Voorbeeld aansluitingsconstructie
 (gebaseerd op [13])



2 Belastingen

In het vorige hoofdstuk is beschreven welke faalmechanismen van belang zijn bij de belasting van duinen als waterkering en wat de corresponderende beoordelingssporen zijn waarlangs de duinen worden getoetst op veiligheid. De belastingen die hierbij van belang zijn, worden in dit hoofdstuk per beoordelingsspoor behandeld. In de laatste paragraaf worden enkele aanvullende opmerkingen betreffende aansluitingsconstructies gemaakt.

2.1 Duinafslag DA

Voor dit spoor vormt de gecombineerde werking van waterstanden, golven en stroming de belasting. De waterstand wordt bepaald door het getij en de stormopzet. De resulterende waterstand is belangrijk omdat die het aangrijpingspunt bepaalt van de direct voor afslag verantwoordelijke aanval van golven. De golven zijn dus qua belasting (zowel bepaald door golfhoogte als golfperiode) bepalend voor de duinafslag. Stromingen ten slotte, opgewekt door het getij, de wind en brekende golven, kunnen het afgeslagen materiaal uit het profiel wegvoeren, wat bij onvoldoende aanvoer tot zandverliezen uit het kustprofiel leidt. Er is dan sprake van een negatieve gradiënt in het langstransport.

Voor de in rekening te brengen maatgevende hydraulische belasting, dit is het zogenaamde Rekenpeil (ontwerppeil plus $2/3$ maal de decimeringshoogte) met de hierbij behorende golfcondities (golfhoogte H_s en golfperiode T_p), wordt verwezen naar HR2006 [45]. Deze hydraulische belasting geldt ook bij de beoordeling van duinvoetverdedigingen en het effect van niet-waterkerende objecten (NWO).

2.2 Winderosie WE

Zoals aangegeven in § 1.2 van dit katern kan winderosie van belang zijn aan de landzijde van het duin dat het grensprofiel bevat.

De windbelasting wordt in het kader van toetsen feitelijk niet gekwantificeerd. Aan de hand van sterkte-eigenschappen (begroeiing - zie hoofdstuk 3 van dit katern) wordt daarom beoordeeld of er sprake is van voldoende weerstand tegen winderosie.

2.3 Duinvoetverdedigingen

De HR2006 [45] geeft golfrandvoorwaarden op diep water (NAP - 20 m lijn) en voor de Delta in de diepe geulen voor de kust. Daar zijn de sterkteformules (rekenmodel DUROS-plus; zie Deel B van het Technisch Rapport Duinafslag [49]) op gebaseerd. De sterkteformules voor harde constructies als duinvoetverdedigingen echter vragen om de golfparameters bij de constructie zelf (teen van de glooiing). Bij de toetsing van een duinvoetverdediging op constructieve sterkte kan men dus niet direct de waarden uit HR2006 toepassen, maar moet de golf op diep water nog worden vertaald naar de teen van de glooiing (met rekenmodel SWAN of ENDEC). Hierbij moet rekening gehouden worden met de bodemligging bij maatgevende omstandigheden.

2.4 Niet-waterkerende objecten NWO

Niet-waterkerende objecten zijn veelal harde constructies of elementen binnen de invloedzone van de waterkering. Het meest aansprekende voorbeeld is bebouwing. Ook kabels en leidingen worden als NWO's opgevat. NWO's veroorzaken in feite een interne indirecte belasting van de duinen omdat ze invloed hebben op golven, stroming en wind. Daardoor wordt de belasting op de duinen door deze grootheden in feite herverdeeld. Veelal leidt dit tot grotere ruimtelijke gradiënten in de belasting op het (duinen)systeem en daardoor tot ongelijkmatige respons van het systeem. Een voorbeeld hiervan wordt gevormd door ontgrondingskuilen voor muren of soortgelijke harde elementen.

2.5 Aansluitingsconstructies

Daar waar duinen aansluiten aan 'harde' waterkeringen zoals dijken is sprake van een aansluitingsconstructie: aanpassingen in het dwarsprofiel en/of lengteprofiel van de 'harde' constructie en het aansluitende duin om de aansluiting zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen. De discontinuïteit in het type waterkering in kustlangse richting en de vorm van aansluitingsconstructies kunnen namelijk lokaal grotere hydraulische belastingen veroorzaken door intensievere turbulentie, golfreflectie en energiedissipatie.

Bij de eenvoudige en gedetailleerde toetsing van aansluitingsconstructies wordt nagegaan wat de versturende invloed is op de kustprofielen naast de aansluitingsconstructie. Hierbij wordt uitsluitend gekeken naar de profielen zelf en niet naar de invloed van de aansluitingsconstructie op de (hydraulische) belasting.

Voor het aansluitende duin geldt het 'ongestoorde' duinprofiel en de daarbij behorende belasting als uitgangspunt. Voor de harde constructie geldt dat ook: deze moet aan de toetsingsregels voldoen. Voor het aansluitende gedeelte van de 'harde' constructie - de aansluitingsconstructie - geldt dat deze, mocht hij geheel of gedeeltelijk bloot komen te liggen ten gevolge van duinafslag, onder de daarvoor geldende belastingen stabiel moet zijn. Hierbij kan wel rekening worden gehouden met de na duinafslag verhoogde vooroever. Bij de geavanceerde toetsing wordt van geval tot geval beoordeeld van welke belasting op de aansluitingsconstructie moet worden uitgegaan.

3 Sterkte

In hoofdstuk 1 van dit katern is beschreven welke faalmechanismen van belang zijn bij de belasting van duinen als waterkering en wat de beoordelingssporen zijn waarlangs de duinen worden getoetst op veiligheid. De hierbij van belang zijnde belastingen zijn in hoofdstuk 2 per beoordelingsspoor behandeld. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de sterkte-eigenschappen, ook weer per beoordelingsspoor. In de laatste paragraaf worden enkele aanvullende opmerkingen betreffende aansluitingsconstructies gemaakt.

3.1 Duinafslag DA

Er moet een bepaald volume zand in het duinprofiel beschikbaar zijn om bij storm af te kunnen slaan (zie de met A_0 en T_0 aangegeven vlakken in Figuur 6 - 1.1). Het rood gekleurde deel op het niveau van het huidige Rekenpeil is het grensprofiel, dat in de berekening moet overblijven nadat het materiaal in de afslagzone onder invloed van de maatgevende belasting is herverdeeld over het dwarsprofiel en/of is afgevoerd in langsricting (het rood gekleurde deel op het hogere niveau is het meer landwaarts gelegen grensprofiel als bepaald voor de situatie over 200 jaar). De minimale maten van het grensprofiel staan vermeld in sectie 27 van deel C van het Technisch Rapport Duinafslag [49].

De sterkte tegen afslag wordt in feite bepaald door de geometrie van het duinprofiel en de korrelafmetingen van het duinzand. Voor wat betreft de geometrie is een representatieve lengtemaat de afstand tussen het initiële duinfront (de zeewaartse doorsnijding van het kustprofiel met het NAP+5 m vlak) en het afslagpunt na de storm (het snijpunt van het nieuwe duinfront met het oorspronkelijke duinniveau). De korrelafmetingen van het duinzand zijn van belang vanwege hun valsnelheid, een parameter die een rol speelt in het proces van zandtransport en duinafslag.

Zoals vermeld in § 1.1 van dit katern is in sommige gevallen een versterking aangebracht in de vorm van een duinvoetverdediging. Een dergelijk element kan worden gezien als een sterkte-eigenschap van het duin. Een duinvoetverdediging zal apart moeten worden beoordeeld als bijzondere constructie. Indien voldoende sterk wordt de beschermende invloed van een duinvoetverdediging als sterkte-eigenschap meegenomen bij de bepaling van de maatgevende duinafslag.

3.2 Winderosie WE

De weerstand tegen Winderosie wordt gevormd door begroeiing van de duinen. De kwaliteit, intensiteit en oppervlakte van de begroeiing aan de landzijde van het grensprofiel vormen hierbij de maatstaven voor de beoordeling van de sterkte.

3.3 Duinvoetverdedigingen

Duinvoetverdedigingen zijn harde constructies ter plaatse van de duinvoet met het doel de mate van duinafslag tijdens storm te reduceren. Hiervoor is het uiteraard noodzakelijk dat de duinvoetverdediging in stand blijft onder maatgevende omstandigheden. Afhankelijk van de constructie van de duinvoetverdediging kan deze gezien worden als een bekleding op het duin of als een constructie, die samen met het duin het vereiste waterkerend vermogen moet leveren.

Een aandachtspunt bij de sterkte van een duinvoetverdediging is de mogelijke ondermijning als gevolg van het ontstaan van een ontgrondingskuil aan weerszijden en bij de teen van de constructie.

3.4 Niet-waterkerende objecten NWO

Niet-waterkerende objecten (bebouwing, kabels en leidingen) kunnen de weerstand van een zandige kust tegen erosie nadelig beïnvloeden. Zoals aangegeven in § 2.4 van dit katern zal ten gevolge van niet-waterkerende objecten de respons van het systeem in ruimtelijke zin ongelijkmatiger worden. Praktisch gesproken betekent dit, dat in de nabijheid van niet-waterkerende objecten relatief meer erosie en aanzanding kan optreden. Op zich hoeft dit niet te betekenen dat de kust verzwakt is: het is ook mogelijk dat verhoogde aanzanding optreedt op plaatsen waar juist extra zand nodig is. De weerstand van de kust wordt echter ook altijd in ongunstige zin beïnvloed, zeewaarts, maar vooral ook aan weerszijden van het niet-waterkerende object. Overigens is het precieze patroon van verhoogde erosie (en aanwas) ten gevolge van een niet-waterkerend object onvoorspelbaar. De Leidraad Zandige Kust [25] gaat vrij uitvoerig in op vergunningverlening voor bouwen op het strand en in de kernzone van de waterkering bij een duinenkust. Voor permanente bebouwing in de kernzone geldt een zeer terughoudend beleid.

3.5 Aansluitingsconstructies

De sterkte van de aansluitingsconstructie wordt bepaald door het gedrag van de aansluitende onderdelen waaronder inbegrepen hun onderlinge beïnvloeding en de daaruit voortvloeiende belasting. Zoals in § 2.5 van dit katern is aangegeven wordt de sterkte van de aansluitingsconstructie op basis hiervan getoetst. De procedure hiervoor wordt behandeld in § 4.3 van dit katern.

Naast de sterkte van de aansluitingsconstructie zelf is van belang dat de aanwezigheid ervan de sterkte van het naastgelegen duinprofiel t.a.v. Duinafslag verkleint, zie § 3.1 van dit katern.

4 Beoordeling

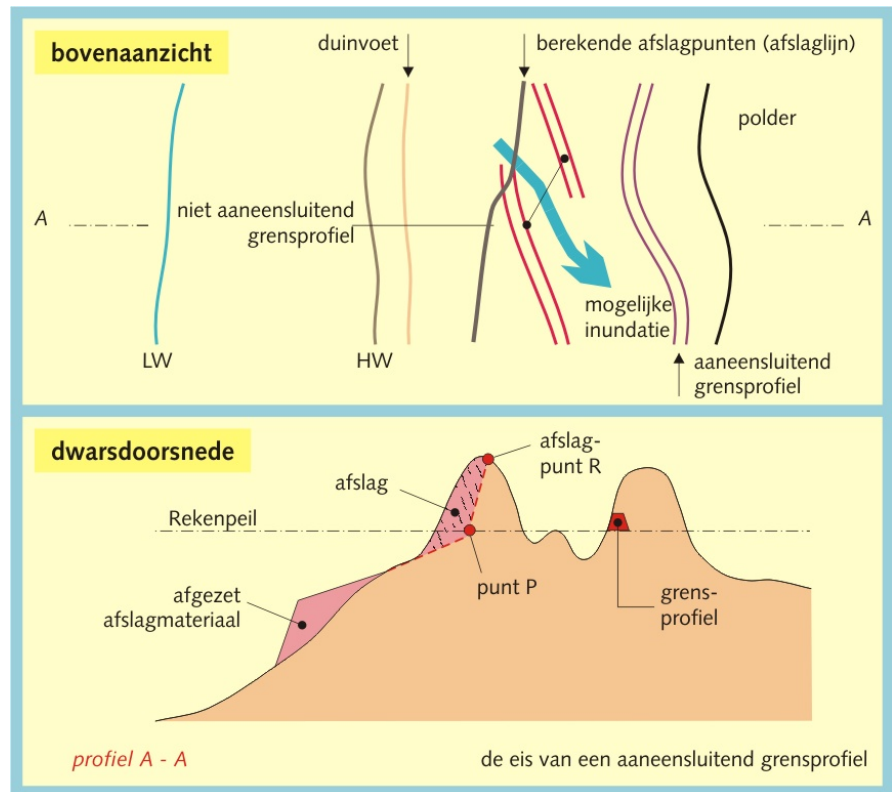
De beoordelingswijze per sectie is beschreven in § 2.1 van Katern 2 (zie Figuur 2 - 2.2), inclusief de plaats van het beheedersoordeel hierin. Het beheedersoordeel wordt behandeld in hoofdstuk 6 van Katern 2.

Ten aanzien van duinafslag kan geen gebruik gemaakt worden van de resultaten van de tweede toetsronde 2001-2006 (zie § 2.1.2 van Katern 2), doordat de toetsingsregels aangepast zijn als gevolg van het uitbrengen van het Technisch Rapport Duinafslag TRDA [49].

4.1 Inleiding

Als eerste stap in de veiligheidsbeoordeling dienen de zwakste duinprofielen in de te beschouwen duinenkust te worden gelokaliseerd. Hiertoe wordt allereerst vastgesteld welke duinenstroken van een bepaald dijkkringgebied gelijk worden belast. Binnen deze stroken van gelijke belasting wordt beoordeeld waar de reservestrook het smalst is. De gevonden sectie vormt het zwakste duinprofiel. Veelal volgt deze ook uit de voor alle raaien uitgevoerde duinafslagberekeningen.

Figuur 6 - 4.1
Aaneensluitend grensprofiel



Hierbij moet er op worden gelet dat het grensprofiel in kustlangse richting ononderbroken doorloopt als gesloten waterkering. Alleen dan wordt in principe na het optreden van de maatgevende afslag, overstroming van het achterland voorkomen. Als voorbeeld dient in het geval van Figuur 6 - 4.1 het grensprofiel in de meest landwaartse duinenrij te worden gekozen.

Behalve op onderbrekingen in het grensprofiel moet ook worden gelet op eventuele zwakkere profielen tussen de (Jarkus)-meetraaien, bijvoorbeeld als gevolg van insnoering of lagere duinen aan de landzijde.

4.2 Duinen

In § 1.2 van dit katern en in Figuur 6 - 1.3 zijn de beoordelingssporen gedefinieerd. In het navolgende worden de beoordelingsprocedures per beoordelingsspoor besproken.

4.2.1 Duinafslag DA

De beoordeling op Duinafslag volgt het schema in Figuur 6 - 4.2.

Hierbij wordt in eerste instantie onderscheid gemaakt tussen volledig zandige (onverdedigde) dwarsprofielen en dwarsprofielen met een constructie of duinvoetverdediging.

Hierna wordt de beoordeling stapsgewijze behandeld.

Stap 1: Aanwezigheid constructie

In deze eerste stap wordt onderscheid gemaakt tussen de situatie waarbij in het dwarsprofiel een constructie of duinvoetverdediging aanwezig is en het geval waarbij dit niet het geval is.

Indien zich geen constructie in de kustsectie bevindt, dan wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Bij aanwezigheid van een duinvoetverdediging wordt de toetsing voortgezet met stap 2. Indien zich andere constructies, zoals boulevards, bouwwerken en/of andere harde elementen in de te toetsen kustsectie bevindt, dient altijd een geavanceerde toetsing te worden uitgevoerd, zie stap 5.

Stap 2: Stabiliteit duinvoetverdediging

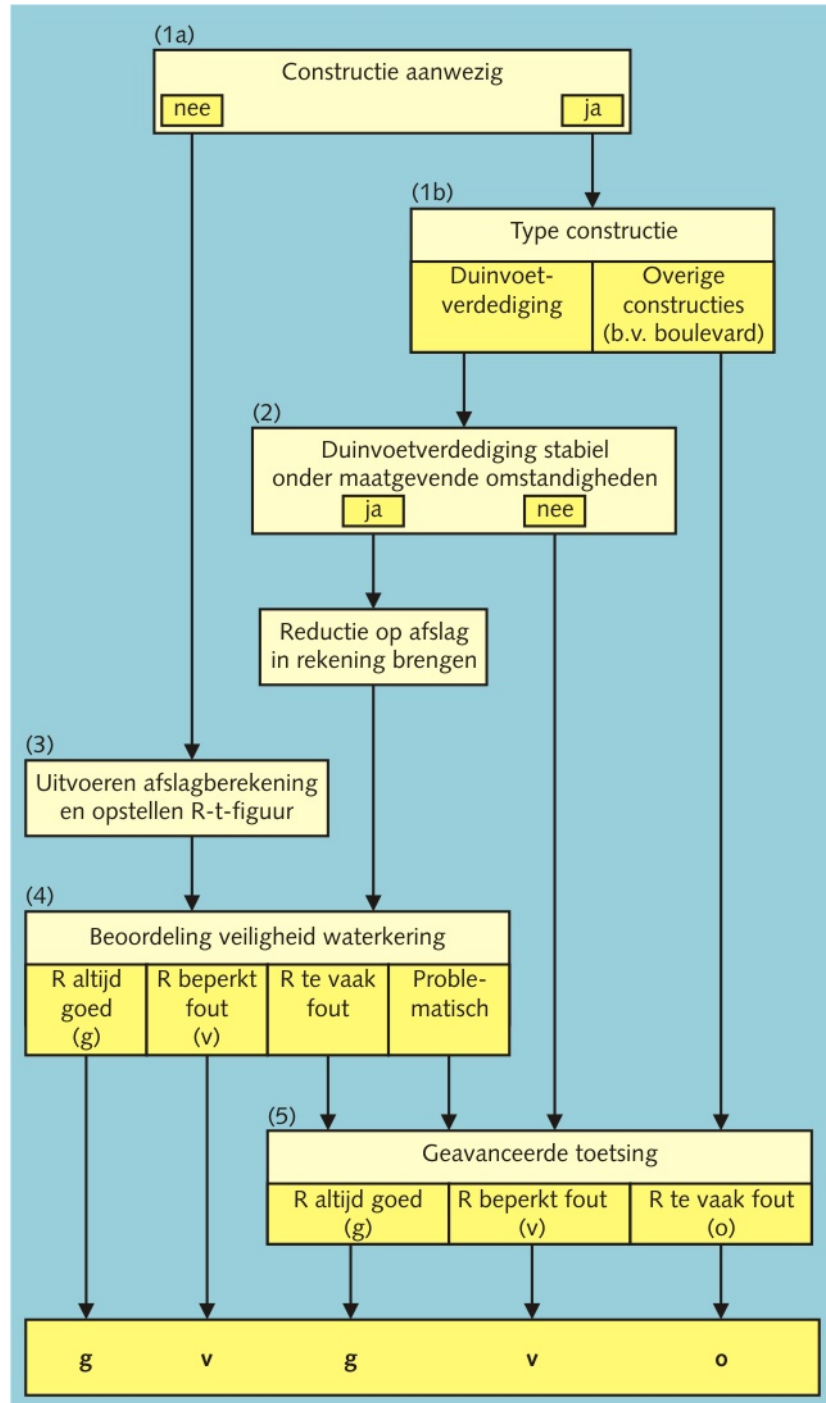
Voor (deels) verdedigde duinprofielen moet worden nagegaan of de aanwezige constructie standhoudt onder maatgevende omstandigheden. Afhankelijk van het resultaat kan al dan niet rekening worden gehouden met de positieve invloed van de constructie op de grootte van de hoeveelheid duinafslag. De hiervoor te gebruiken relatie is beschreven in het Basisrapport bij de Leidraad Zandige Kust [25]. In het gunstigste geval leidt dit tot een meer zeewaartse ligging van de afslagpunten in genoemde R-t-figuur.

Of de duinvoetverdediging standhoudt onder maatgevende omstandigheden en dus als volledig stabiel kan worden aangemerkt moet worden getoetst volgens § 4.2.6 van Katern 5 (toetsing als bekleding) of volgens Katern 7 (in geval van een andersoortige constructie).

Hierbij moet ook worden gekeken naar het mogelijk optreden van een ondermijning van de constructie als gevolg van het ontstaan van een te diepe ontgrondingskuil bij de teen van de constructie.

Bij volledige stabiliteit mag de reductie op de afslag in rekening worden gebracht en wordt de toetsing vervolgd met stap 4.

Figuur 6 - 4.2
Beoordelingsschema Duinafslag DA



In het meest simpele geval waarbij de constructie samenvalt met het buitenbeloop van de duinen en er geen afslag boven de constructie kan optreden, ligt 'R' dus gewoon samen met de constructie.

Bij een relatief lage stabiele verdedigingsconstructie, waarbij er wel afslag boven de constructie kan optreden, is er een reductie in afslag ten opzichte van het 'onverdedigde geval' met een (zeewaartse) correctie van de positie van de afslagpunten als resultaat.

Bij twijfel aan blijvende stabiliteit moet er rekening mee gehouden worden dat de duinvoetverdediging bezwijkt en in brokstukken uiteenvalt. De aanwezigheid van brokstukken kan een negatief effect hebben op Duinafslag, maar de grootte van het effect is niet vast te stellen op grond van rekenregels. Om deze reden kan niet uitgegaan worden van een beoordeling op Duinafslag alsof de constructie niet aanwezig is (stap 3), maar moet geavanceerd getoetst worden (stap 5).

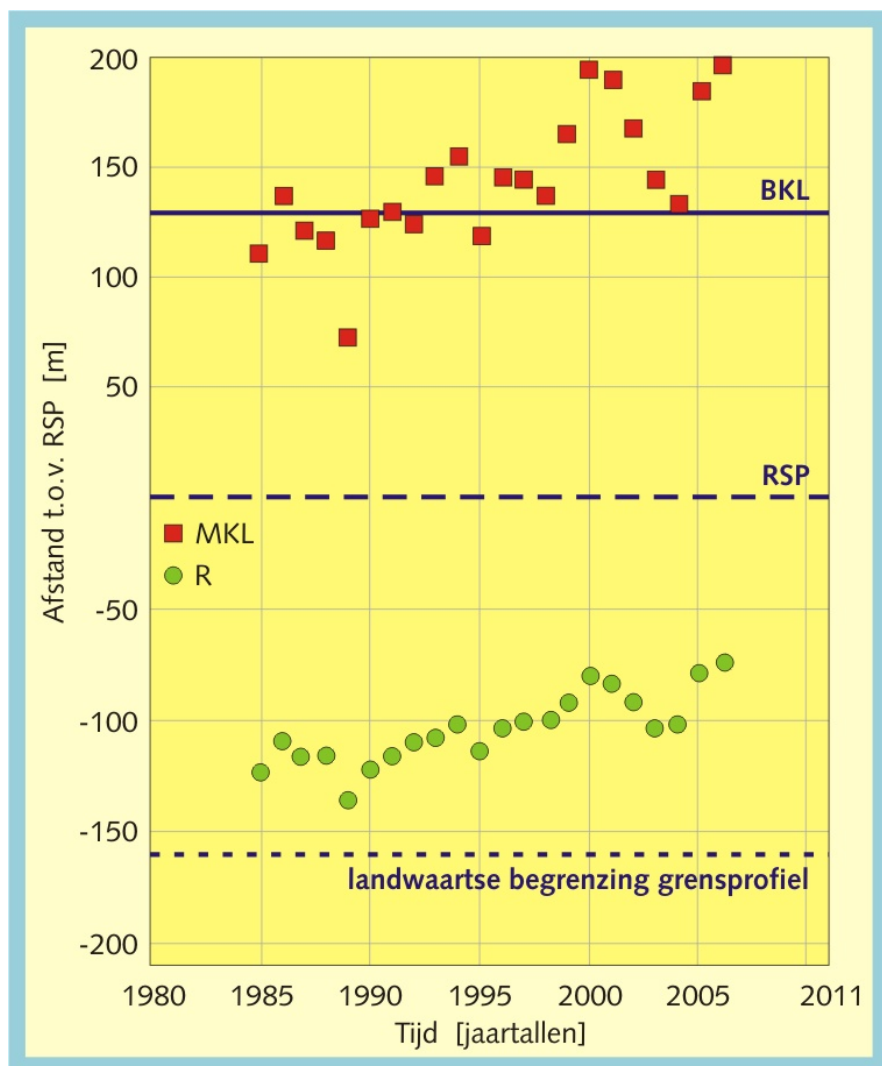
Stap 3: Bepaling R-t-figuur

Voor onverdedigde duinprofielen worden, geheel conform de in het Technisch Rapport Duinafslag [49] gegeven procedure (meer specifiek in sectie 26 van deel C van [49]), voor een groot aantal profielmetingen afslagberekeringen uitgevoerd en op basis hiervan de positie van het afslagpunt R als functie van de tijd in een zogenaamde R-t-figuur geplaatst.

In sectie 27 van [49] zijn de aan te houden maten van het grensprofiel opgenomen, dit inclusief de regels over de benodigde overbreedte ter compensatie van onvoldoende hoogte van het grensprofiel. Verder is daarin uitgewerkt hoe rekening moet worden gehouden met de effecten van gradiënten in het langstransport bij gekromde kustgedeelten (sectie 29), de aanwezigheid van harde elementen in het dwarsprofiel (sectie 30), aansluitingsconstructies (sectie 31), diepe geulen vlak voor de kust (sectie 32) en meerdere duinregels met een duinvallei (sectie 33).

Een voorbeeld van een dergelijke R-t-figuur (ontleend aan [49]) is gegeven in Figuur 6 - 4.3.

Figuur 6 - 4.3
 Voorbeeld R-t-figuur
 (ontleend aan [41])



Stap 4: Beoordeling veiligheid

Aan de hand van het 'beeld' van de aldus verkregen figuur zijn verschillende gevallen te onderscheiden op basis waarvan op een vrij directe wijze de veiligheid van de waterkering kan worden beoordeeld.

Het resultaat van deze toetsing is:

- 'goed' indien alle R-punten (nog) duidelijk zeewaarts van de uiterste afslagpunten blijken te liggen, en er op basis van de trend geen overschrijding tot 2011 is te verwachten (R altijd goed);
- 'voldoende' indien er maximaal twee maal uit een reeks van 15 of meer jaren sprake is van een overschrijding, maar deze niet in de laatste vijf jaar is voorgekomen, en er op basis van de trend geen overschrijding tot 2011 is te verwachten (R beperkt fout);
- 'onvoldoende' indien er meer dan twee overschrijdingen zijn (R te vaak fout);
- geen score mogelijk, omdat de procedure niet tot bruikbare resultaten leidt.

Voor de gedetailleerde uitwerking wordt verwezen naar de in het Technisch Rapport Duinafslag [49] gegeven procedures.

Stap 5: Geavanceerde toetsing Duinafslag

In de eerste plaats is geavanceerde toetsing op Duinafslag nodig voor duinprofielen met boulevards, bouwwerken of andere harde elementen. In dat geval is specialistische inbreng nodig voor het maken van duinafslagberekeningen.

Ten tweede kan geavanceerde toetsing nodig zijn als er in stap 4 geen positief oordeel kan worden gegeven. Wellicht kan een als onveilig beoordeelde doorsnede (die dus de score 'onvoldoende' tot gevolg had) na dat onderzoek alsnog als veilig worden beoordeeld, waardoor maatregelen voorlopig achterwege kunnen blijven.

In voorkomende gevallen verdient het aanbeveling de assistentie van een specialist in te roepen. In sectie 35 van het Technisch Rapport Duinafslag [49] worden enkele problemen nader beschreven.

4.2.2 Winderosie WE

De beoordeling volgt het schema in Figuur 6 - 4.4. Uit de eenvoudige beoordeling kan een eindscore 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende', maar ook een tussenscore 'twijfelachtig' volgen. In het laatste geval moet een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd. Andere bedekkingen, zoals bestrating, asfalt enz. kunnen 'vitale begroeiing' vervangen.

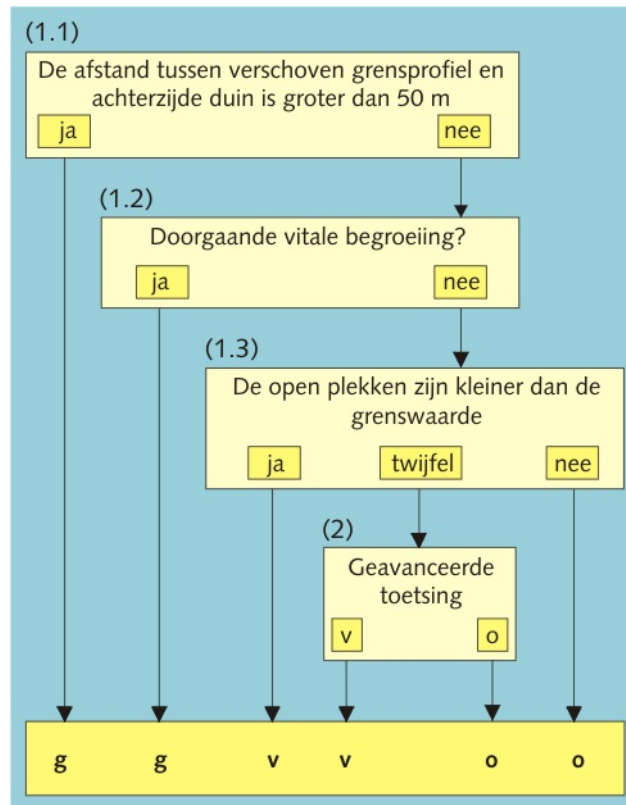
Stap 1: Eenvoudige toetsing Winderosie

In de eenvoudige toetsing kan een eindscore worden bereikt op basis van eenvoudige kenmerken van de zone tussen het grensprofiel en de achterzijde van het duin.

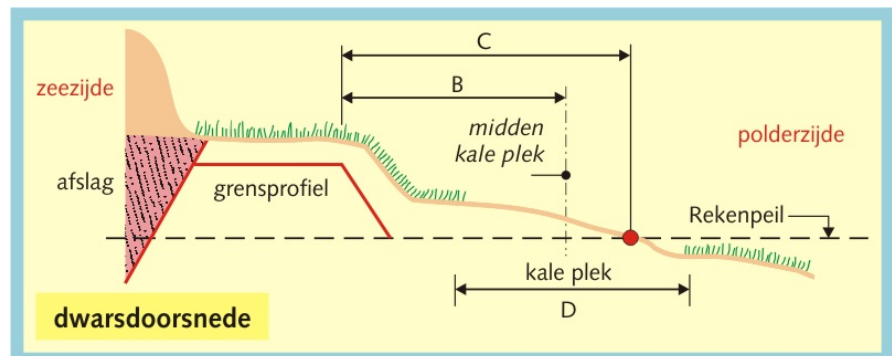
Stap 1.1: Afstand tussen grensprofiel en achterzijde duin

Het grensprofiel wordt in horizontale zin zo dicht mogelijk tegen het berekende afslagpunt geschoven, waarbij rekening wordt gehouden met de eis van een in kustlangse richting doorgaand grensprofiel. Vervolgens wordt de afstand bepaald tussen de 'binnenkruinlijn' van het grensprofiel en het snijpunt van het Rekenpeil met de landwaartse zijde van het gesloten duin. Deze afstand wordt C genoemd (zie Figuur 6 - 4.5). Als de afstand C groter is dan 50 m is de eindscore 'goed'; bij kleinere waarden voor C wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

Figuur 6 - 4.4
Beoordelingsschema Winderosie WE



Figuur 6 - 4.5
Begroeiingscriterium



Stap 1.2: Eenvoudige beoordeling begroeiing

Als de afstand C kleiner is dan 50 m, maar de begroeiing in deze zone is doorgaand en vitaal, kan de score 'goed' worden toegekend. Als dit niet het geval is, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.3.

Stap 1.3: Eenvoudige beoordeling open plekken

De score in deze stap wordt bepaald door de grootte en plaats van de open plekken in de begroeiing: een kleine open plek die ver weg van het grensprofiel ligt, brengt de veiligheid niet in gevaar (zie Figuur 6 - 4.5). Als de diameter van de open plek D kleiner is dan de afstand B tussen de 'binnenkruinlijn' van het grensprofiel en het midden van de open plek, kan de score 'voldoende' worden toegekend. Bij $D > B$ is de score 'onvoldoende'. Als hierover geen uitsluitel kan worden gegeven is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

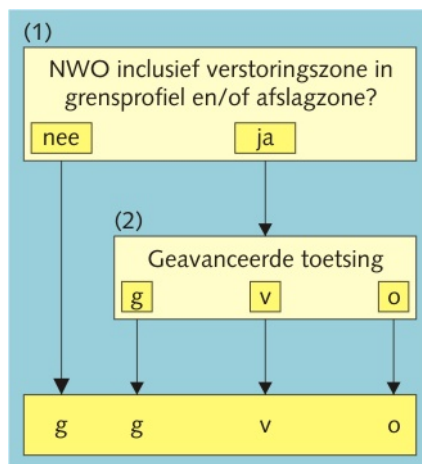
Stap 2: Geavanceerde toetsing Winderosie

Bij de uitkomst 'twijfelachtig' dient naast de toetser een ervaringsdeskundige te worden ingeschakeld. Dan wordt vastgesteld of de begroeiing 'onvoldoende' of 'voldoende' is.

4.2.3 Niet-waterkerende objecten in grensprofiel NWO

In dit spoor wordt gecontroleerd of de veiligheid wordt bedreigd door de aanwezigheid van NWO's. Het beoordelingsschema is weergegeven in Figuur 6 - 4.6 en bestaat uit twee stappen: eerst wordt vastgesteld of er NWO's inclusief hun verstoringsgebied in het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel liggen (stap 1) en vervolgens, als dat zo is, wordt met behulp van geavanceerde toetsing een eindoordeel gegeven.

Figuur 6 - 4.6
Beoordelingsschema Niet-waterkerende objecten NWO



Stap 1: NWO inclusief verstoringszone in grensprofiel en/of afslagzone

Als het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel geen NWO's bevat en als het verstoringsgebied en/of de ontgrondingskuil van buiten het grensprofiel gelegen NWO's het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel niet doorsnijdt, kan direct een eindscore 'goed' worden gegeven. Voor het bepalen van het verstoringsgebied van bebouwingen wordt verwezen naar stap 1 uit § 4.3 van Katern 10). Hier wordt gesteld dat voor het bepalen van ontgrondingskuilen bij bebouwingen geotechnische kennis noodzakelijk is. In feite dient bij bebouwingen dus in ieder geval een geavanceerde toetsing te worden uitgevoerd. Ook voor kabels en leidingen die over het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel heen zijn geleid, dient altijd een geavanceerde toets te worden uitgevoerd.

Stap 2: Geavanceerde toetsing Niet-waterkerende objecten

Het is niet mogelijk om eenduidige toetsingsregels te geven voor de situatie dat het grensprofiel en/of de afslagzone zeewaarts van het grensprofiel wordt doorsneden door NWO's of hun verstoringsgebied. De toetsing is in dat geval daarom altijd geavanceerd. De inbreng van de beheerder hierbij is essentieel. Ook hier wordt, zoals in § 4.2.1 van dit katern, opgemerkt dat bij boulevards, bouwwerken of andere harde elementen een geavanceerde toetsing op Duinafslag dient te worden uitgevoerd.

4.3 Aansluitingsconstructies tussen duinen en dijken/dammen

Het schema voor de beoordeling van aansluitingsconstructies staat in Figuur 6 - 4.7.

In het algemeen is sprake van een veilige aansluiting als de aan weerszijden aansluitende waterkering veilig is. Het is hierbij echter niet afdoende om de doorsneden afzonderlijk te bekijken omdat er sprake is van wederzijdse beïnvloeding, zoals besproken in § 2.5 van dit katern. Deze moeten in de toetsing worden meegenomen.

De eerste deelstap is de toetsing van de aansluitende profielen. Vervolgens, binnen stap 1, worden de harde elementen van de aansluitingsconstructie afzonderlijk beoordeeld. Bij een tussenscore 'onvoldoende' wordt de doorwerking naar het aansluitende harde profiel getoetst; verder bepaalt de tussenscore van de harde elementen de methodiek in stap 2. In die stap wordt bepaald of de aanwezigheid van het harde profiel daadwerkelijk extra afslag - A_{ont} - veroorzaakt en dus een negatieve invloed heeft op het duinprofiel. Als dat het geval is, wordt in stap 3 met eenvoudige regels de bijkomende (landwaartse) verplaatsing van de duinvoet bepaald. Als er niet voldoende zand in het profiel aanwezig is om de extra achteruitgang T_e op te vangen - dit betekent dat het grensprofiel door de afslag zal worden doorsneden - wordt in stap 4 de achteruitgang nauwkeuriger bepaald met de gedetailleerde methode. In bepaalde gevallen is tot slot geavanceerde toetsing nodig (stap 5).

Er worden aparte regels gegeven voor de drie types aansluitingsconstructies die genoemd worden in § 1.1.2 van dit katern:

Type I	Een onverdedigd duin aan een dijk;
Type II	Een onverdedigd duin aan een verdedigd duin;
Type III	Een verdedigd duin aan een dijk.

Een aansluitingsconstructie kan ook bestaan uit een combinatie van types, bijvoorbeeld eerst type II en dan type III. De zwakste combinatie bepaalt in dat geval het toetsresultaat van de aansluitingsconstructie. In de Leidraad Zee- en Meerdijken [13] staat een rekenvoorbeeld voor type I.

Stap 1: Toetsing van de afzonderlijke onderdelen

Stap 1.1: Aansluitende profielen

In deze stap worden de beide aansluitende profielen onafhankelijk van elkaar getoetst. Als de score voor beide aansluitende profielen 'goed' of 'voldoende' is, kan de toetsing worden voortgezet met stap 1.2. Als één van de profielen een score 'onvoldoende' krijgt, is dat tevens de eindscore van de aansluitingsconstructie.

Stap 1.2: Harde elementen van de aansluitingsconstructie

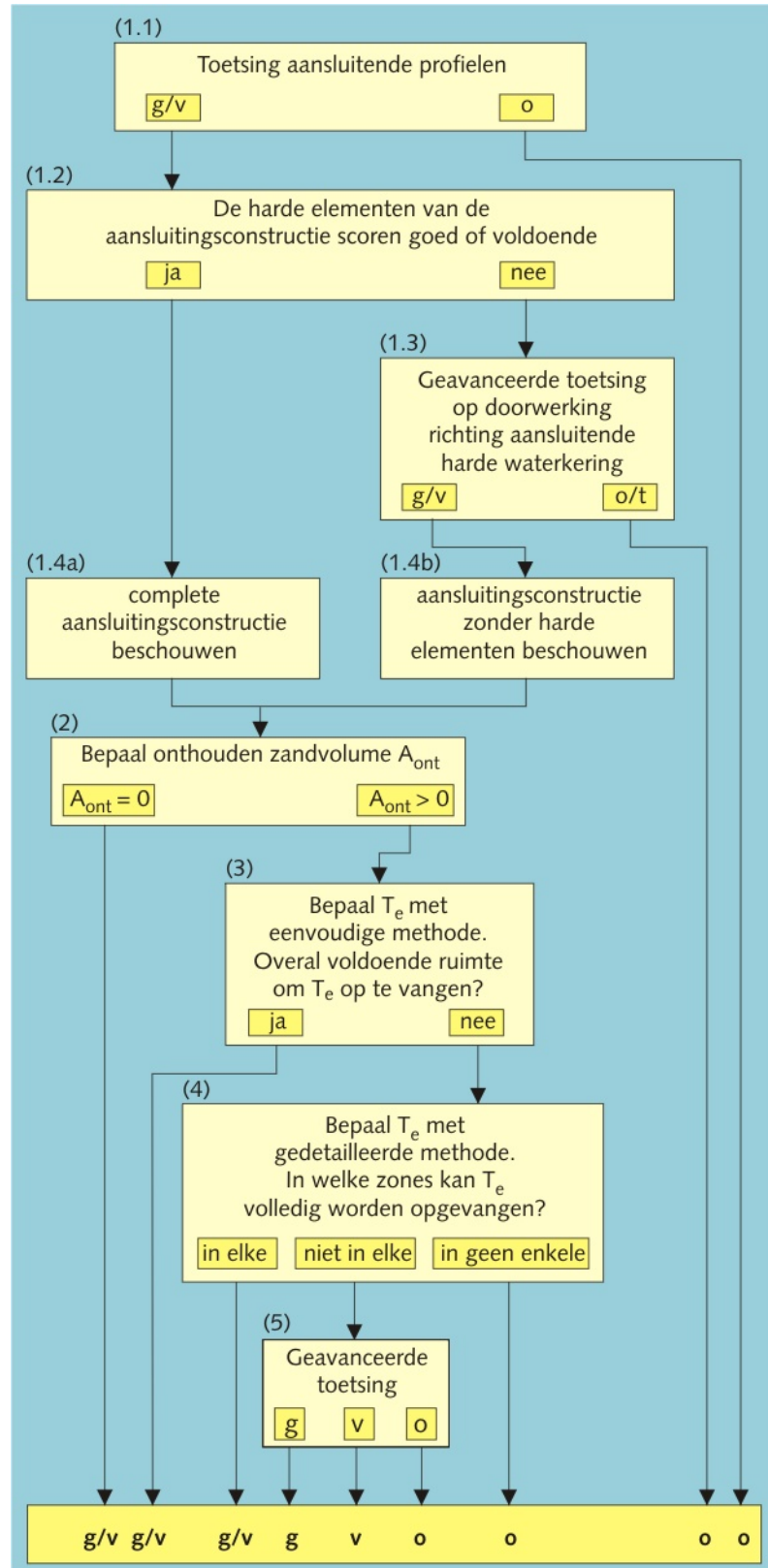
De harde elementen van de aansluitingsconstructie moeten worden getoetst volgens de regels van Katern 5 en/of Katern 8. Het resultaat van deze toetsing is geen eindscore, maar bepaalt het vervolg van de toetsing. Als de harde elementen een tussenscore 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' krijgen, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.3. Bij een tussenscore 'goed' of 'voldoende' wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4a.

Stap 1.3: Doorwerking richting aansluitende harde waterkering

Als de harde elementen van de aansluitingsconstructie een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' krijgen, wordt in deze stap getoetst of het bezwijken daarvan - in een soort kettingreactie - doorwerkt naar de aansluitende harde waterkering en daar tot een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' leidt. Hiervoor is een geavanceerde toetsing nodig. Als de doorwerking leidt tot een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig', is de eindscore van de aansluitingsconstructie 'onvoldoende'. Als het aansluitende harde profiel, ondanks het bezwijken van de harde elementen van de aansluitingsconstructie, toch voldoet wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4b.

Opgemerkt wordt dat deze geavanceerde toetsing van stap 1.3 ook kan worden uitgevoerd nadat (volgens de stappen hierna) getoetst is op de doorwerking richting de aansluitende zachte waterkering. De slechtste score van beide toetsingen geldt als de eindscore.

Figuur 6 - 4.7
Beoordelingsschema aansluitingsconstructies



Stap 1.4a: Beschouwing aansluitingsconstructie inclusief harde elementen

De gehele aansluiting met al zijn elementen wordt getoetst volgens de procedure van een aansluitingsconstructie.

Stap 1.4b: Beschouwing aansluitingsconstructie exclusief harde elementen

Als de stabiliteit van de harde elementen 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is, dan moet de aansluiting wel worden getoetst volgens de procedure van een aansluitingsconstructie, maar zonder het instabiele, harde deel van de aansluitingsconstructie mee te nemen, als ware dit niet aanwezig. Het punt L_1 (zie Figuur 6 - 1.6) aan het uiteinde van de harde aansluitende constructie moet dan worden gekozen ter plaatse van de stabiele oorspronkelijke doorsnede van de aansluitende constructie (bijvoorbeeld een dijk). Het 'onvoldoende' of 'twijfelachtige' gedeelte wordt dan dus genegeerd - althans de harde elementen daarin - en er dient te worden nagegaan of er voldoende zand in het profiel zit om T_e op te vangen. In feite is er dan sprake van een abrupte overgang naar het aansluitende harde profiel. Zie verder stap 2.

Stap 2: Bepaling onthouden zandvolume A_{ont}

In deze stap wordt berekend of er sprake is van een aan het harde profiel onthouden zandvolume A_{ont} , dat een extra kustachteruitgang ter plaatse van het duinprofiel kan veroorzaken. De methode om A_{ont} te bepalen wordt afzonderlijk besproken voor de drie genoemde types aansluitingsconstructies. Voor alle drie de types geldt dat bij $A_{ont} = 0$ er geen extra teruggang van het duin te verwachten valt. De score is dan 'goed' als de tussenscore van stap 1.2 en 1.3 'goed' is, en 'voldoende' in alle andere gevallen. Als $A_{ont} > 0$ dan moet worden doorgegaan met stap 3 om de extra achteruitgang te bepalen.

In principe wordt A_{ont} bepaald op basis van de verschillen tussen de profielen van de aansluitende kustgedeelten. We zouden, in analogie met sedimenttransport, kunnen spreken van profielgradiënten. Hierbij wordt het profielverschil beschouwd na de maatgevende storm. Echter, omdat in de bestaande situatie al sprake kan zijn van profielverschillen, worden deze voor de bepaling van A_{ont} afgetrokken van de profielverschillen na de maatgevende storm. Hierbij wordt het profielgedeelte beschouwd dat zeewaarts ligt van de meest zeewaartse (harde) verdediging. Hierbij wordt de volgende notatie gebruikt:

- A, B zijn de aansluitende profielen voor de storm;
- A', B' zijn de aansluitende profielen na de storm;
- $D_1 = A - B$, dus het profielverschil voor de storm;
- $D_2 = A' - B'$, dus het profielverschil na de storm.

Een complicatie bij de methode is dat niet alle afslagprofielen grafisch worden beschreven. Zo is er geen eenduidige formulering voor de vorm van een ontgrondingskuil voor een dijk of een duinvoetverdediging. Ook het beneden in het profiel afgezette zand bij de afslag van een verdedigd duin wordt niet grafisch beschreven, maar bepaald door een reductie toe te passen op de afslag bij een onverdedigd duin.

Bij de onderscheiden types aansluitingen wordt rekening gehouden met deze complicatie. Het leidt noodgedwongen van geval tot geval wel tot verschillende formuleringen van A_{ont} .

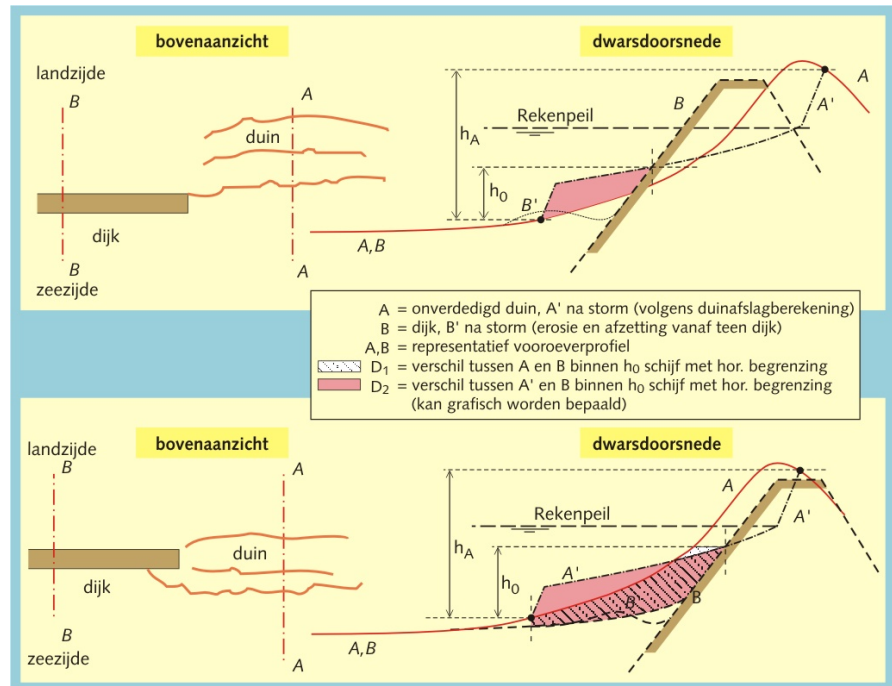
In het navolgende worden voor elk type eerst voorbeelden gegeven van de ligging van de aansluitende profielen ten opzichte van elkaar en de grafische aanduiding van A_{ont} ; daarna worden de rekenregels gegeven.

Type I: Aansluiting van een onverdedigd duin aan een dijk

Voorbeeld

Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: dus een doorsnede over het kale duin (A-A) en een doorsnede over de harde constructie, het zogenaamde ‘dijkprofiel’ (B-B). De veiligheid van het duinprofiel wordt getoetst volgens § 4.2 van dit katern, de veiligheid van het dijkprofiel volgens Katern 5. Figuur 6 - 4.8 geeft een tweetal voorbeelden van de mogelijke ligging van deze profielen ten opzichte van elkaar. Hierbij is voor het duinprofiel het bijbehorende afslagprofiel aangegeven.

Figuur 6 - 4.8
Voorbeeld ligging profielen Type I



Zoals aangegeven in Figuur 6 - 1.4 is h_A gedefinieerd als de hoogte van de afslagzone van het duinprofiel, en is h_0 gedefinieerd als de hoogte van de afslagzone tot aan het snijpunt met de harde constructie waarbij het Rekenpeil als bovengrens wordt gehanteerd voor h_0 . Als dit snijpunt er niet is, kan hiervoor dus het Rekenpeil worden aangehouden.

Figuur 6 - 4.8 laat een situatie zien waarbij de dijk iets zeewaarts ligt t.o.v. het aansluitende duin. De bepaling van A_{ont} in stap 2 gebeurt binnen de schijf h_0 , welke in horizontale zin wordt begrensd door - aan de zeewaartse zijde - het einde van de depositiezone (zie Figuur 6 - 1.1) en - aan de landwaartse zijde - door het snijpunt van het afgeslagen onverdedigde duinprofiel met de aansluitende dijk. Voor het profielgedeelte zeewaarts van de depositiezone wordt zoveel mogelijk een representatieve vorm gekozen, dus op basis van de vooroever voor het duin en de dijk.

Rekenregels

De werkwijze voor de bepaling van A_{ont} is voor dit type als volgt: ten eerste wordt het profielverschil vóór de maatgevende storm bepaald (D_1), ten tweede het profielverschil ná de maatgevende storm (D_2). Het verschil daartussen is A_{ont} .

Het profielverschil D_1 tussen het duin en de dijk vóór de maatgevende storm - binnen schijf h_0 - is aangegeven door het gearceerde vlakje in Figuur 6 - 4.8:

$$D_1 = A - B$$

In de bovenste figuur is $D_1 = 0$ omdat binnen de h_0 -schijf en zeewaarts van het buitentalud van de dijk de profielen voor de maatgevende storm hetzelfde zijn. In de onderste figuur is er duidelijk sprake van een profielverschil voor de maatgevende storm. In werkelijkheid zal een dergelijk verschil in aangrenzende profielen over ruimere afstand zijn uitgesmeerd. Vlakbij de overgang van duin naar dijk liggen de profielen dus veel meer in elkaars verlengde, zoals aangegeven in Figuur 6 - 1.4. Hiermee dient bij de bepaling van de aansluitingszone rekening te worden gehouden. Normaal gesproken zal de waarde van D_1 dus beperkt zijn.

Het profielverschil ná de maatgevende storm (D_2) volgt uit vergelijking tussen het afgeslagen duinprofiel A' en het dijkprofiel B. Het profielverschil D_2 is in Figuur 6 - 4.8 aangegeven door het ingekleurde vlakje. D_2 zou in principe moeten worden bepaald door het verschil te nemen tussen het afgeslagen duinprofiel A' en de ontgrondingskuil en de afzetting lager in het dijkprofiel B'. Om praktische redenen - er is geen voorgeschreven rekenmethode beschikbaar voor de grafische bepaling van de ontgrondingskuil en afzetting lager in het profiel B, en de afzetting zal veelal binnen de depositiezone (zie Figuur 6 - 1.1) vallen - wordt D_2 bepaald door het verschil te nemen tussen A' en B, dus:

$$D_2 = A' - B$$

Het afslagprofiel A' wordt bepaald door een afslagberekening voor het profiel A conform de methode uit stap 2 van § 4.2.1 van dit katern. De afslagberekening moet worden gemaakt voor de bestaande geometrie van het duinprofiel.

Het onthouden zandvolume A_{ont} is nu het verschil tussen D_2 en D_1 :

$$A_{ont} = D_2 - D_1$$

Het kan voorkomen dat de vooroever van het dijkprofiel dusdanig hoog ligt ten opzichte van de vooroever van het duinprofiel dat er geen zand aan het profiel B wordt onthouden; dan geldt $A_{ont} = 0$. In dat geval heeft de dijk geen ongunstige invloed op het naastliggende duinprofiel, en is de eindscore gelijk aan de score van stap 1, dus 'goed' of 'voldoende'. In het geval dat de dijk verder landwaarts ligt, kan het zijn dat h_0 niet kan worden bepaald omdat het afslagprofiel geen snijpunt heeft met het dijkprofiel. In dat geval wordt h_0 aan de bovenzijde begrensd door het Rekenpeil.

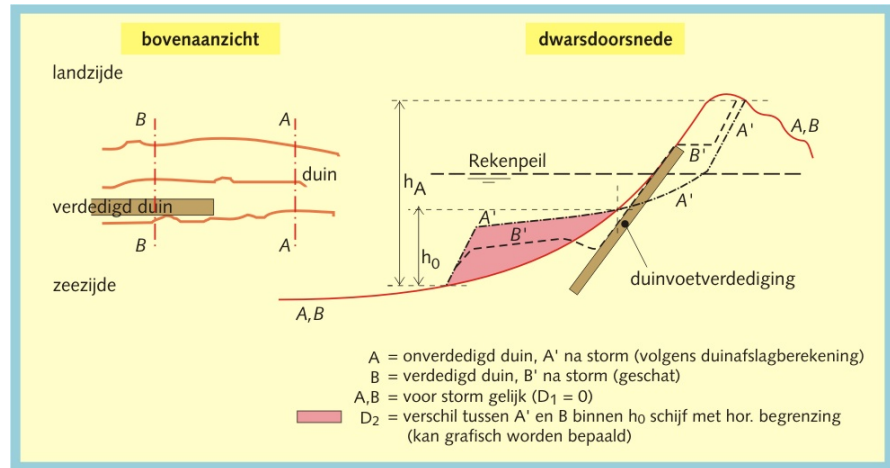
Type II: Aansluiting van een onverdedigd duin op een verdedigd duin

Voorbeeld

Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: dus een doorsnede over het kale duin (A-A) en een doorsnede over het verdedigde duin (B-B). Voor deze twee profielen wordt de veiligheid getoetst met § 4.2 van dit katern en met behulp van het Technisch Rapport Duinafslag [49]. Figuur 6 - 4.9 geeft een voorbeeld van de ligging van deze profielen en de bijbehorende afslagprofielen ten opzichte van elkaar, normaal gesproken min of meer in elkaars verlengde. In de figuur is uitgegaan van het geval waarbij de dwarsprofielen vóór afslag exact hetzelfde zijn, om het verschil tussen de twee afslagprofielen duidelijk te maken.

Zoals Figuur 6 - 4.9 laat zien treedt de afslag in het verdedigde duin alleen op boven de duinvoetverdediging. De teruggang - en ook de depositie lager in het profiel - is duidelijk kleiner dan die bij het onverdedigde duin. Ook is schematisch een ontgrondingskuil aangegeven ter plaatse van de aansluiting van het strand aan de duinvoetverdediging.

Figuur 6 - 4.9
Voorbeeld ligging profielen Type II



Rekenregels

Consistent met de benadering voor Type I wordt A_{ont} in principe ook voor Type II (zie Figuur 6 - 4.9) bepaald door het verschil $A' - B'$ tussen het afslagprofiel van het onverdedigde (A') en verdedigde duin (B'), en daar van af te trekken het bestaande profielverschil $A - B$. In feite is dus het profiel B' van het verdedigde duin na de maatgevende storm nodig. Dit profiel kan echter niet worden bepaald: de beschikbare rekenmethodiek leidt wel tot een afslaghoeveelheid A_{verd} door een reductie R te bepalen die wordt toegepast op de afgeslagen hoeveelheid A_{onverd} in het onverdedigde duin, als volgt:

$$A_{verd} / A_{onverd} = 1 - R$$

De werkwijze voor de bepaling van A_{ont} is voor Type II daarom als volgt:

- zoals normaal gesproken het geval is bij de overgang van een onverdedigd duin naar een verdedigd duin zijn de beide profielen vóór de maatgevende storm min of meer hetzelfde en is $A = B$ en dus $D_1 = 0$;
- maak voor het onverdedigde profiel A een afslagberekening conform de methode van stap 2 van § 4.2.1. Dit resulteert in een afslagprofiel A' . Bepaal het verschil tussen het profiel A' en A binnen schijf h_0 . Dit wordt aangeduid met $D_2 = A' - A$;
- bepaal de reductie R om de afslaghoeveelheid bij het verdedigde duin te bepalen;
- bereken de hoeveelheid $D_2 = A' - B'$ met $A' - B' = (A' - A) - (B' - A) = (A' - A) - (1 - R) \cdot (A' - A) = (A' - A) \cdot R$;
- dit leidt tot de volgende uitdrukking voor A_{ont} :
 $A_{ont} = D_2 - D_1 = D_2 = (A' - A) \cdot R$.

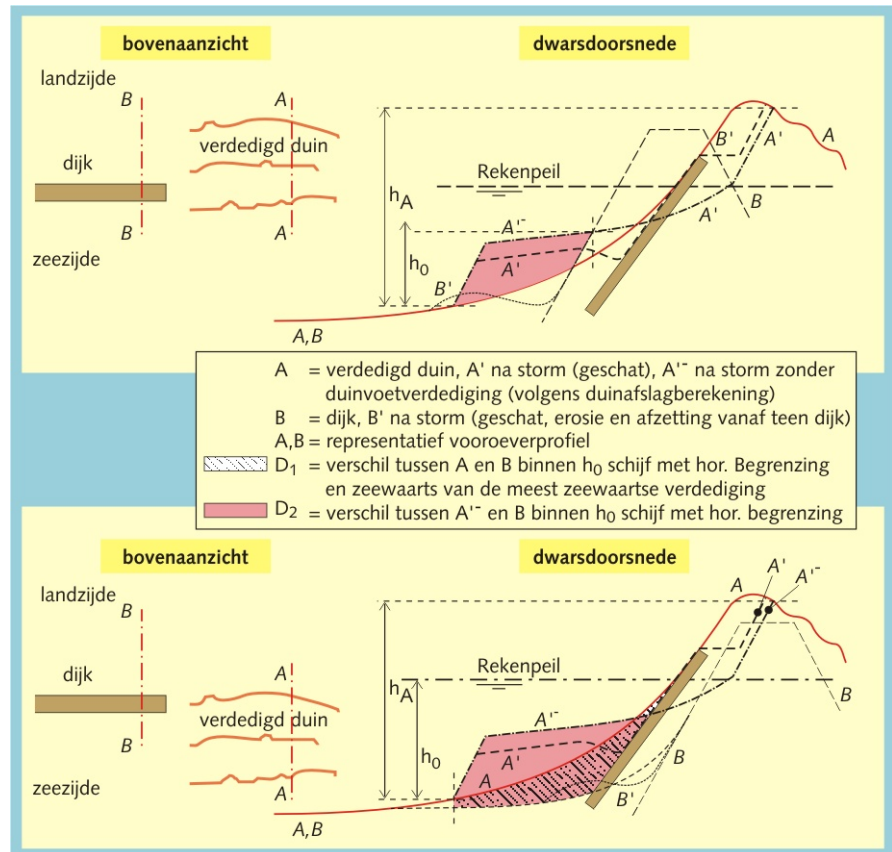
Hoewel meestal niet het geval, is het mogelijk dat A_{ont} kleiner is dan 0, namelijk als de vooroever ter plaatse van het verdedigde profiel veel hoger ligt dan ter plaatse van het onverdedigde profiel. In dat geval heeft de verdediging geen ongunstige invloed op het naastliggende onverdedigde profiel, en is de eindscore gelijk aan de score van stap 1.

Type III: Aansluiting van een verdedigd duin aan een dijk

Voorbeeld

Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: een doorsnede over het verdedigd duin (A-A) en een doorsnede over het dijkprofiel (B-B). Voor deze twee profielen wordt de veiligheid van de dijk getoetst met Katern 5 en van het duin met § 4.2 van dit katern en met behulp van het Technisch Rapport Duinafslag [49]. Figuur 6 - 4.10 geeft een voorbeeld van de ligging van deze profielen ten opzichte van elkaar.

Figuur 6 - 4.10
Voorbeeld ligging profielen Type III



Ook hier worden weer twee schematische voorbeelden getoond. De bovenste helft van Figuur 6 - 4.10 toont het geval waarin de dijk iets zeewaarts ligt t.o.v. het aansluitende verdedigde duin, de onderste helft het omgekeerde. In het eerste geval kan voor het 'zandgedeelte' van het profiel met de dijk (B) en het corresponderende gedeelte van het duinprofiel een representatief profiel worden gekozen, dus A en B vallen hier samen. Bij het tweede geval - de onderste figuur - ligt het duin zeewaarts van de dijk.

Rekenregels

Evenals bij Type II kan voor het verdedigde duin geen afslagprofiel worden berekend, alleen een reductie op de afslag bij eenzelfde onverdedigd duin. In het bovenste geval van Figuur 6 - 4.10, waarbij de dijk iets zeewaarts ligt t.o.v. het duin, is voor het corresponderende zandige gedeelte van de profielen een gelijke, representatieve vorm gekozen. In het onderste geval is er sprake van een duidelijk profielverschil voor de maatgevende storm.

De procedure voor de bepaling van A_{ont} is als volgt:

- bepaal het verschil $D_1 = A - B$ binnen schijf h_0 tussen beide profielen vóór de maatgevende storm. In het bovenste geval is $D_1 = 0$ omdat binnen de h_0 -schijf en zeewaarts van de dijk de profielen voor de maatgevende storm gelijk zijn. In het onderste geval is er duidelijk sprake van een profielverschil voor de maatgevende storm vanwege de zeewaartse positie van het zandige gedeelte van het verdedigde duinprofiel;
- maak voor het onverdedigde profiel A een afslagberekening conform de methode van stap 2 van § 4.2.1. Dit resulteert in een afslagprofiel A' ('geeft aan 'onverdedigd'). Bepaal het verschil tussen het profiel A' en B binnen schijf h_0 . Dit wordt aangeduid met $A' - B$. Om dezelfde reden als bij Type I wordt bij de bepaling van D_2 niet uitgegaan van B' maar van B;
- bepaal de reductie R om de afslaghoeveelheid bij het verdedigde duin te bepalen;
- bereken de hoeveelheid $D_2 = A' - B'$ met: $D_2 = A' - B' = (1 - R) \cdot (A' - B)$;
- dit leidt tot de volgende uitdrukking voor A_{ont} :

$$A_{ont} = D_2 - D_1 = (1 - R) \cdot (A' - B) - (A - B).$$

Het is mogelijk dat A_{ont} kleiner is dan 0, als de vooroever ter plaatse van de dijk veel hoger ligt dan ter plaatse van het duin. In dat geval heeft de dijk geen ongunstige invloed op het naastliggende duinprofiel, en is de eindscore gelijk aan de tussenscore van stap 1.

Stap 3: Extra teruggang T_e (eenvoudig)

In deze stap wordt de extra teruggang T_e bepaald. Zoals aangegeven in § 1.2.2 wordt uitgegaan van de waarde van T_e bij een gesloten aansluitingsconstructie. Er wordt dus geen rekening gehouden met een reductie hierop door zandaanvulling van achter de harde aansluitende constructie in geval van een open aansluitingsconstructie. De basiswaarde van T_e volgt uit:

$$T_e = A_{ont} \cdot [\sqrt{h_A \cdot h_0} + h_0]^{-1}$$

waarin:

- | | | | |
|-------|---|--|-----|
| h_A | = | hoogte van de afslagzone | [m] |
| h_0 | = | hoogte van de afslagzone tot het snijpunt met de harde constructie (zie Figuur 6 - 1.4; de formule komt uit [9]) | [m] |

Opgemerkt wordt dat de gemeenschappelijke ondergrens van h_A en h_0 wordt bepaald door het laagste punt van de afzetting in het afslagprofiel, dus de zeewaartse begrenzing van de depositiezone. De resulterende waarde van T_e wordt opgelegd aan het einde van het duin, dus op de rand van de aansluitingsconstructie ter plaatse van het aansluitende duin (zie Figuur 6 - 1.5). Vervolgens wordt een verloop van T_e naar 0 toegepast over een afstand van 100 m vanaf deze locatie in de richting van het aansluitende duin. Vergelijk de extra achteruitgang T_e met de ruimte tussen het afslagpunt en de voorzijde van het grensprofiel.

Ga na of:

- er bij een gesloten eindconstructie (zie Figuur 6 - 1.7), gezien de ligging van het grensprofiel, voldoende ruimte is om de extra teruggang T_e op te vangen;
- er bij een open eindconstructie (zie Figuur 6 - 1.6) de lineair over een afstand r afnemende extra teruggang T_e kan worden opgevangen achter de aansluitingsconstructie of, in het geval van een abrupte beëindiging, achter de aansluitende (harde) constructie.

Als de extra teruggang in elke doorsnede kan worden opgevangen is de score 'goed'. Zo niet, dan doorgaan met stap 4.

Stap 4: Extra teruggang T_e (gedetailleerd)

De gedetailleerde methode staat in [9]. Bij deze methode wordt het verloop van T_e nauwkeuriger geschat. Dit gebeurt op basis van een ondergrens- en een bovengrensbepaling voor het verloop van A_{ont} over de gehele lengte - verdeeld over een aantal zones - van de aansluitingszone. Bij de ondergrensbepaling van A_{ont} wordt een te verwachten instabiel gedrag van de harde constructie in rekening gebracht. Bij toepassing van deze methode is specialistische hulp aanbevolen.

Deze methode leidt tot de volgende scores:

- 'goed': voor zowel de ondergrens- als de bovengrenswaarden van A_{ont} kan T_e overal in de aansluitingszone volledig worden opgevangen;
- 'onvoldoende': voor zowel de ondergrens- als de bovengrenswaarden van A_{ont} kan T_e nergens in de aansluitingszone volledig worden opgevangen;
- in alle overige gevallen is geen score mogelijk.

De scores 'goed' en 'onvoldoende' gelden als eindscore. Indien geen tussenscore mogelijk is wordt de toetsing voortgezet met stap 5.

Stap 5: Geavanceerde toetsing Aansluitingsconstructies

Als met de gedetailleerde methode geen score kan worden bepaald, dan moet nader onderzoek worden uitgevoerd. Dit leidt dan tot een eindoordeel 'goed', 'voldoende', of 'onvoldoende'.

Katern 7

**Waterkerende
kunstwerken**

1 Inleiding

1.1 Definitie en afbakening

Waterkerende kunstwerken zijn meestal primair aangelegd ten behoeve van utilitaire kruisingen zoals (scheepvaart-)verkeer, waterbeheer of nutsvoorzieningen. Verder kunnen andere functies van de waterkering zoals woon-/werk-/leefmilieu, natuur, landschap en cultureel erfgoed, ertoe leiden dat bijzondere waterkerende constructies zoals een kistdam, keermuur of damwand worden toegepast.

Dit katern behandelt de toetsing van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies voor zover ze behoren tot een primaire waterkering. Hierbij hoort ook de aansluiting op het omringende grondlichaam.

In de waterkering kunnen voorts niet-waterkerende objecten voorkomen. Deze hebben geen primaire waterkerende functie maar kunnen wel direct of indirect invloed uitoefenen op de waterkering. Niet-waterkerende objecten worden hier alleen genoemd en niet nader uitgewerkt; de toetsing op deze objecten is een integraal onderdeel van de beoordelingssporen in dit katern.

Volgens de TAW/ENW Leidraad Kunstwerken [26] kunnen waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies op basis van kenmerken t.a.v. de waterkerende functie in vier types worden onderverdeeld:

- Type I** constructies die volledig zelfstandig de waterkerende functie moeten vervullen;
- Type II** constructies die in combinatie met een grondconstructie de waterkerende functie moeten vervullen;
- Type III** constructies die na falen van een andere constructie de waterkerende functie moeten vervullen;
- Type IV** constructies welke geen waterkerende functie hebben, maar bij falen de waterkering kunnen aantasten.

Tabel 7 - 1.1 geeft een overzicht van de indeling van veelvoorkomende constructies in de vier types.

Constructies die buiten de primaire waterkering liggen, zoals kribben, pieren, golfbrekers en andere kustverdedigingswerken, worden alleen in de toetsing betrokken als deze van invloed zijn op belastingen of op de stabiliteit van de kering. De wijze waarop dit is gebeurd, moet in de toetsrapportage worden vermeld. Aansluitingen van het kunstwerk op dijk, dam of hoge grond behoren bij het kunstwerk en worden in dit katern (middels verwijzingen) behandeld. Elke aansluitingsconstructie dient afzonderlijk een eindscore te krijgen.

Tabel 7- 1.1
Indeling in constructietypes

	constructietype			
	I	II	III	IV
waterkerende kunstwerken				
• schutsluizen	♦			
• stroomsluizen (spui-, inlaat- en doorlaatsluizen)	♦			
• keersluizen	♦			
• hoogwater- en stormvloedkeringen	♦			
• coupures	♦	♦		
bijzondere waterkerende constructies				
• specifiek beweegbare keringen (roteerbare, verschuifbare, oppompbare of mobiele keringen)	♦	♦		
• kistdammen en diepwanden	♦			
• cellen- en combiwanden	♦			
• keermuren, -wanden en kadewanden	♦			
• damwandschermen (stabiliteit-, erosie-, kwel-, en functiescheidende schermen)		♦		
• palenwanden		♦		
• keer- en dijkmuurtjes		♦		
• gewapende grondconstructies		♦		
overige objecten (kokervormige constructies door de waterkering)				
• gemalen	♦	♦	♦ ¹⁾	♦
• duikers			♦ ¹⁾	♦
• pijpleidingen			♦ ¹⁾	♦
• tunnels (zonder kanteldijken)			♦ ¹⁾	♦

¹⁾ Bij aanwezigheid van keermiddelen of vervangende waterkeringen (damwanden of kanteldijken)

De diverse types constructies worden op de volgende wijze beoordeeld:

- voor de wijze van beoordeling van constructies in hoge gronden en duinen wordt verwezen naar Katern 5 en Katern 6;
- voor de beoordeling van de Waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies, die niet zijn bestemd tot directe kering van het buitenwater, en dus behoren tot categorie c, wordt verwezen naar § 2.3 van Katern 2;
- bij de beoordeling van de overige constructies wordt uitgegaan van de actuele werkelijke staat van een kunstwerk.

M
m

Vanwege het specifieke karakter van de harde en demontabele Maaskaden en de eisen die hieraan gesteld worden, zijn in dit katern aparte paragrafen opgenomen voor de beoordeling van de hoogte en de betrouwbaarheid van de sluiting van de harde en demontabele Maaskaden (zie § 4.1.2 en § 4.3.2).

1.2 Beoordelingssporen

De beoordeling van een waterkerend kunstwerk of een bijzondere waterkerende constructie verloopt volgens de volgende beoordelingssporen:

- **Hoogte (HT)** van de constructie, de afsluitmiddelen en het aangrenzende grondlichaam;
- **Stabiliteit en sterkte (ST)** van de constructie, de waterkerende onderdelen en het omringende grondlichaam, onderverdeeld in:
 - Stabiliteit van constructie en grondlichaam (STCG);
 - Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen (STCO);
 - Piping en heave (STPH);
 - Stabiliteit van het voorland (STVL);
- **Betrouwbaarheid sluiting (BS)**.

Opgemerkt wordt dat het toetspoot Stabiliteit van constructie en grondlichaam STCG (vooral type II constructies) deels moet worden uitgevoerd op basis van Katern 5. Toetsingsregels ten behoeve van geotechnische benaderingen worden in dit katern niet uitgewerkt; waar relevant staan verwijzingen.

De toetsing van de aansluiting op het omringende grondlichaam is onderdeel van de genoemde beoordelingssporen: bij de sporen Stabiliteit van constructie en grondlichaam STCG en Piping en heave STPH wordt expliciet aandacht besteed aan de aansluitingen.

De toetsing van het effect van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen van het kunstwerk is bij kunstwerken een integraal onderdeel van de beoordelingssporen. Voor kunstwerken waarbij de invloed van een niet-waterkerend object op het grondlichaam van belang is, wordt verwezen naar Katern 10.

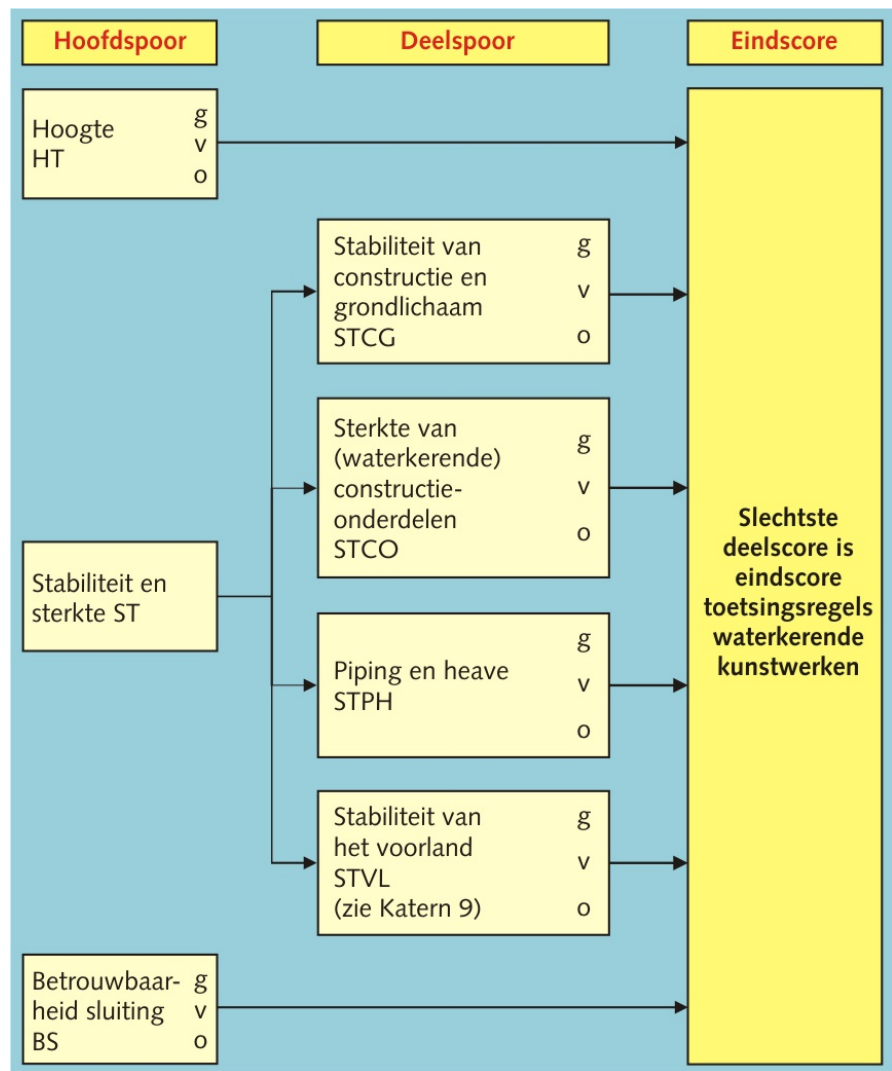
De beoordeling van de stabiliteit van het voorland op de mechanismen afschuiving en zettingsvloeiing (STVL) is ondergebracht in Katern 9 (van toepassing op zowel kunstwerken als dijken). In dit katern wordt het deelspoot Stabiliteit van het voorland alleen behandeld voor zover het zijn relatie met de andere beoordelingssporen betreft.

Algemene aandachtspunten bij de beoordeling van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies zijn:

- er bestaat een enorme diversiteit in soorten, omstandigheden en afmetingen van kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies. Feitelijk is ieder kunstwerk op maat gemaakt en derhalve uniek. Dit houdt in dat een toetspoot alleen op hoofdlijnen kan worden beschreven, invulling per kunstwerk is maatwerk. Dat betekent overigens niet dat de toetsing van een kunstwerk automatisch van geavanceerd niveau is;
- relatie met de Leidraad Kunstwerken [26] (nieuwbouw/renovatie versus toetsen);
- beschikbaarheid van informatie (m.b.t. ontwerpgegevens en fysieke staat van onderdelen).

Figuur 7 - 1.1 is het hoofdschema voor de beoordeling van waterkerende kunstwerken. Hoofdschema's geven een overzicht van alle beoordelingssporen die moeten worden doorlopen en de manier waarop de eindscore wordt bepaald. Voor waterkerende kunstwerken moet op alle beoordelingssporen uit het hoofdschema worden getoetst. De slechtste score uit de hoofd- en deelsporen is de eindscore van het waterkerende kunstwerk.

Figuur 7-1.1
 Hoofdschema voor de beoordeling van
 waterkerende kunstwerken



2 Belastingen

Analoog aan NEN 6702 en Leidraad Kunstwerken [26] wordt onderscheid gemaakt in permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De belangrijkste belastingen die betrekking hebben op waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies zijn:

- permanente belastingen:
 - eigen gewicht constructie (onderdelen);
 - gronddruk;
 - (grond)waterdruk (ook opdrijvende kracht);
- veranderlijke belastingen:
 - drukverschillen ten gevolge van waterstanden (maatgevende hoogwatersituatie, negatief verval);
 - drukverschillen ten gevolge van windgolven (inclusief eventuele golfklappen);
 - stroming (inclusief eventuele daardoor veroorzaakte trillingen);
 - scheepsgolven/translatiegolven (niet tijdens de maatgevende hoogwatersituatie);
 - scheepsstroming;
 - troskrachten;
 - verkeersbelastingen;
 - temperatuurbelastingen;
 - winddrukken;
- bijzondere belastingen:
 - aanvaring;
 - aardbeving;
 - explosie;
 - ijsbelasting;
 - stroming in geval van niet sluiten;
 - vandalisme en sabotage.

In veel gevallen hoeft maar met een gedeelte van de genoemde belastingen rekening te worden gehouden; zo kan het voorkomen dat land- of scheepvaartverkeer in maatgevende omstandigheden is uitgesloten. Sommige van de genoemde belastingen kunnen in dat geval niet voorkomen en hoeven niet in rekening te worden gebracht. Het is niet mogelijk om algemene regels te geven welke belastingen wel en welke niet in rekening moeten worden gebracht; dit moet per geval worden onderzocht.

Voor belastingcombinaties en in rekening te brengen belastingfactoren wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken [26]. Daarin wordt ook aandacht besteed aan de wijze waarop bij de toetsing moet worden omgegaan met NEN-normen (6700 e.v.) en de grenstoestanden, Uiterste Grens Toestand (UGT) en Bruikbaarheids Grens Toestand (BGT).

3 Sterkte

Het waterkerend vermogen van een kunstwerk wordt bij deze toetsing op hoofdlijnen gekarakteriseerd door de aanwezige hoogte, de stabiliteit van het geheel, en de werking en sterkte van de constructieve onderdelen, inclusief eventuele afsluitmiddelen.

De Hoogte (spoor HT) moet voldoende zijn om een te groot waterbezwaar in het dijkkringgebied door overloop en golfoverslag te voorkomen; daarnaast kunnen bereikbaarheid, begaanbaarheid en het niet mogen vollopen van bedieningskelders een rol spelen. Ten behoeve van de toets dient de actuele kerende hoogte h_w t.o.v. NAP kan gecontroleerd worden middels meting, zie ook § 3.1 van Katern 5.

De Stabiliteit en sterkte (spoor ST) van een constructie wordt gekarakteriseerd door het deformatie-/verplaatsingsgedrag van de constructie en het grondlichaam dat de constructie omsluit (deelspoor STCG), de sterkte van de waterkerende constructieonderdelen (deelspoor STCO) en de weerstand tegen het optreden van Piping of heave (deelspoor STPH). Stabiliteitsproblemen kunnen ontstaan door:

- hogere belastingen (dan de ontwerpwaarden);
- lagere draagkracht van de constructie en het omsluitend grondlichaam dan op basis van het ontwerp verondersteld. Dit kan het gevolg zijn van indertijd onjuist ingeschatte bodemopbouw en grondparameters of toepassing van ontoereikende rekenmodellen;
- verlies van draagkracht van onderdelen van de constructie of lagere draagkracht dan op basis van het ontwerp verondersteld. Verlies van draagkracht van onderdelen kan in de loop van de tijd ontstaan door veroudering van constructieve onderdelen. Gedacht kan worden aan sterkteverlies van (grenen-) houten funderingspalen, maar ook aan verlies van draagkracht van funderingspalen door negatieve kleeft;
- onvoldoende weerstand tegen het optreden van Piping en heave via watervoerende lagen langs of onder de constructie, onvoldoende aansluiting tussen grond en constructie of onvoldoende weerstand ter plaatse van het filter aan de benedenstroomse zijde van de constructie.

Belastingen kunnen door legio oorzaken wijzigen. Ook kan tijdens de levensduur van de constructie blijken dat belasting (-combinaties) kunnen optreden die niet in het ontwerp zijn voorzien.

Stabiliteitsproblemen kunnen in de loop der tijd zichtbaar worden door vervorming en/of verplaatsing van de constructie of door scheuren en openstaande voegen. De deformatie/verplaatsing moet worden vastgelegd door periodieke (jaarlijkse) metingen van door de beheerder aangegeven vaste punten. In sommige gevallen kan de stabiliteit van de constructie worden bedreigd door gedrag van het voorland (STVL). Voor de toetsing hiervan wordt verwezen naar Katern 9.

Stabiliteitsverlies van de constructie en/of het aanliggende grondlichaam door piping kan ontstaan bij onvoldoende afmetingen van kwelschermen of door lekken, bijvoorbeeld bij aansluitingen. Soms zijn lekkages te constateren door peilbuisregistraties en/of wellen.

De sterkte van waterkerende constructieonderdelen (incl. afsluitmiddelen) dient door berekeningen te zijn onderbouwd.

De werking en de gebruiksveiligheid van eventuele afsluitmiddelen worden beschreven onder de noemer Betrouwbaarheid sluiting (BS).

4 Beoordeling

Zoals aangegeven in § 1.2 van dit katern worden toetsporen in dit katern slechts globaal beschreven. Elk kunstwerk is uniek, waardoor de toetsing van elk kunstwerk in principe maatwerk is.

Bij de beoordeling van het waterkerend vermogen van het kunstwerk spelen vier soorten gegevens een rol:

- ontwerpuitgangspunten m.b.t. belastingen, gehanteerde ontwerprichtlijnen en gebruiksspecificaties;
- resultaten van uitgevoerde ontwerpberoeeningen;
- onderhoudstoestand/actuele conditie;
- gebruik en gevoerd beheer

De toetsing van waterkerende kunstwerken omvat de volgende beoordelingssporen:

- **Hoogte (HT)**;
- **Stabiliteit en sterkte (ST)** :
 - Stabiliteit van de constructie en grondlichaam (STCG);
 - Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen (STCO);
 - Piping en heave (STPH);
- **Betrouwbaarheid sluiting (BS)**.

4.1 Hoogte van de waterkerende constructie (HT)

M
m

De toets op Hoogte HT van waterkerende kunstwerken is uitgewerkt in § 4.1.1. In § 4.1.2 is een concrete uitwerking opgenomen voor harde en demontabele Maaskaden.

4.1.1 Algemeen

De hoogte (HT) van het gesloten kunstwerk moet voldoende zijn om een te groot waterbezwaar in het dijkkringgebied te voorkomen; daarnaast kunnen bereikbaarheid, begaanbaarheid en het niet vol mogen lopen van bedieningskelders een rol spelen. Tevens mag de standzekerheid van de constructie ten gevolge van overstromend of overslaand water niet in gevaar komen. Bij kunstwerken kan in voorkomende gevallen onder voorwaarden worden toegestaan dat de kruin lager is dan het niveau bij Toetspeil + toeslagen.

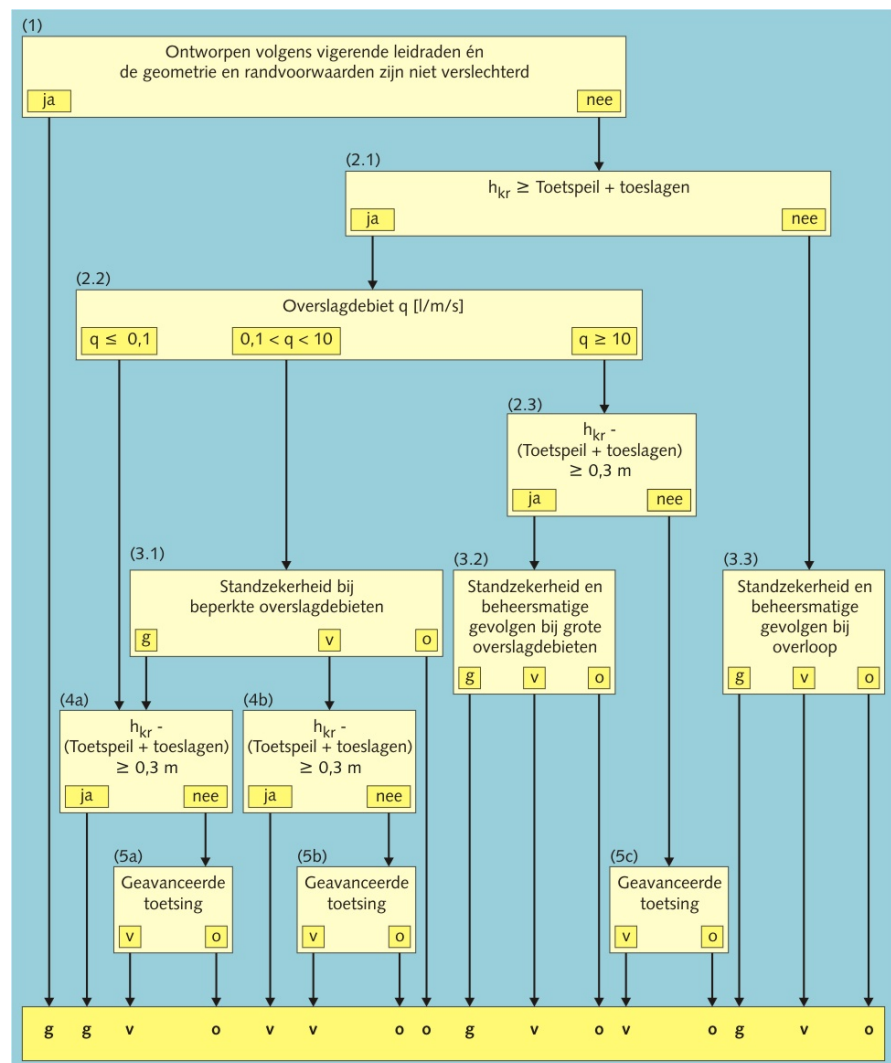
Voor de veiligheid van kunstwerken tegen de faalmechanismen overloop en golfoverslag zijn met name twee parameters van belang: de kruinhoogtemarge en het debiet over de kruin. De kruinhoogtemarge is gedefinieerd als het verschil tussen de Toetspeil + toeslagen en de kruinhoogte h_{kr} . De kruinhoogte is de absolute hoogte op de peildatum van de toetsing, zie ook § 3.1 van Katern 5.

De beoordeling van de hoogte volgt het schema in Figuur 7 - 4.1. Indien het debiet over de kruin bij maatgevende omstandigheden toelaatbaar is en er is voldoende marge om onzekerheden in de waterstandsvoorspellingen op te vangen, dan is de score 'goed' of 'voldoende'.

In stap 1 kan de score 'goed' worden gegeven op basis van de gehanteerde ontwerpmethode, zonder rekenwerk. Als niet aan de voorwaarden wordt voldaan, wordt in stap 2 een selectie gemaakt op basis van het overslagdebiet en de kruinhoogtemarge. Indien de kruinhoogte onder Toetspeil + toeslagen ligt is sprake van overloop. In dat geval moeten de standzekerheid van de constructie en de beheersmatige gevolgen beoordeeld worden in stap 3.3. Hieruit volgt een score 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende'.

In geval van overslag zijn de verdere stappen afhankelijk van het overslagdebiet q . Een score 'goed' kan alleen worden gegeven als de kruinhoogtemarge groter is dan 0,3 m (stap 2.3, 4a en 4b) en de hoeveelheid overslaand water de veiligheid niet in gevaar brengt. De grenswaarde daarvoor wordt vastgesteld in stap 3, afhankelijk van het bergend vermogen van het achterliggende gebied en de standzekerheid van het kunstwerk. Als hieraan wordt voldaan, moet geverifieerd worden of de kruinhoogtemarge aan de eis voldoet (stap 4). Bij kruinhoogtemarges kleiner dan 0,3 m is geen sprake van ontwerp kwaliteit en kan alleen op basis van geavanceerde toetsing (stap 5) de score 'voldoende' worden gehaald.

Figuur 7-4.1
Beoordelingsschema voor de hoogte van waterkerende kunstwerken (HT)



Hierna volgt een beschrijving per stap.

Stap 1: Gehanteerde ontwerpregels

Een toetsresultaat op basis van de gehanteerde ontwerpregels mag alleen worden gegeven als is aangetoond dat de gebruikte ontwerpwaarden voor de geometrie en de randvoorwaarden niet ongunstiger zijn dan de huidige toetswaarden. Voor de toetsing op Hoogte HT betekent dat voldaan moet worden aan alle volgende criteria:

- Toetspeil + toeslagen en golfhoogte mogen niet hoger zijn en de golfperiode mag niet langer zijn dan de bij het ontwerp gehanteerde waarden voor Ontwerppeil + toeslagen en bijbehorende golfhoogte en golfperiode;
- de kruinhoogte inclusief zettingen mag niet lager zijn dan de ontwerpwaarde;
- de taludhelling mag niet steiler zijn dan de ontwerpwaarde;
- het toelaatbare debiet uit het oogpunt van de bekleding van de kruin en het binnentalud en beheersaspecten mag niet kleiner zijn dan de ontwerpwaarde.

De kruinhoogte van constructie en afsluitmiddelen kan in de loop der tijd zijn verminderd als gevolg van zetting en klink. Daarom moet in ieder geval de actuele kruinhoogte worden bepaald en is een actuele inschatting van de zettingen tot aan de peildatum nodig (zie § 3.1 van Katern 5). De in het ontwerp berekende waarden van zetting en klink kunnen eventueel worden gecontroleerd door het verloop van de hoogte in de tijd door zetting en klink vast te stellen en te extrapoleren naar de peildatum.

De score is alleen 'goed' wanneer het ontwerp gemaakt is op basis van de Leidraad Kunstwerken [26]. Als de geometrie of de randvoorwaarden in ongunstige zin zijn veranderd, moet de toetsing worden voortgezet met stap 2.

Stap 2: Belasting situatie

De beoordelingsmethode voor de hoogte bij kunstwerken is afhankelijk van de belasting situatie van kruin en binnentalud. Hierbij wordt ten eerste een onderscheid gemaakt in golfoverslag en overloop. Voor golfoverslag wordt de methode vervolgens bepaald door de het overslagdebet en de kruinhoogtemarge.

Stap 2.1: Overloop of overslag

Bij kunstwerken doet zich het bijzondere geval voor dat de waterkering ontworpen kan zijn op overloop. De Leidraad Kunstwerken [26] bevat voor die situatie aparte ontwerpregels en ook de toetsing verloopt verschillend. Indien Toetspeil + toeslagen lager is dan de kruinhoogte op de peildatum is de belasting situatie golfoverslag en wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2. Anders is sprake van overloop en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.3.

Stap 2.2: Overslagdebet

Het overslagdebet q dat behoort bij de kruinhoogte h_{kr} en taludhelling α wordt berekend met behulp van de HYDRA-rekenmodellen (zie HR2006 [45]). De HYDRA-rekenmodellen bieden ook de mogelijkheid te rekenen met een verticale wand. Bij complexe geometrie van het talud moeten eerst de randvoorwaarden (Toetspeil, toeslagen en golfrandvoorwaarden) worden bepaald met de HYDRA-rekenmodellen op basis van waarvan het overslagdebet met het rekenmodel PC-OVERSLAG berekend kan worden (zie ook Katern 4). De HYDRA-rekenmodellen en het rekenmodel PC-OVERSLAG gebruiken beiden de formuleringen uit het Technisch rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken [20], maar het rekenmodel PC-OVERSLAG heeft de mogelijkheid om een complexere geometrie (dan de HYDRA-rekenmodellen) toe te passen.

Het vervolg van de toetsing wordt bepaald door de berekende waarde van het overslagdebet (q); er worden drie gevallen onderscheiden:

- $q \leq 0,1$ l/m/s: het overslagdebet is verwaarloosbaar. De toetsing wordt voortgezet met stap 4a;

- $0,1 \text{ l/m/s} < q < 10 \text{ l/m/s}$: de beheersmatige gevolgen zijn zeker acceptabel, dus daarop hoeft niet te worden getoetst. Er moet wel worden getoetst op erosie van de kruin, het binnentalud of de zone achter het kunstwerk. De toetsing wordt voortgezet met stap 3.1;
- $q \geq 10 \text{ l/m/s}$: het overslagdebiet is zeer groot. Het vervolg hangt af van de kruinhoogtemarge, de toetsing wordt voortgezet met stap 2.3.

Stap 2.3: Marge tussen kruinhoogte en waterstand bij groot overslagdebiet

Berekend moet worden hoe groot de marge tussen Toetspeil + toeslagen en de kruinhoogte is. Bij de bepaling van de kruinhoogte h_{kr} moet rekening worden gehouden met zetting en klink, zie § 3.1. van Katern 5

Bij marges kleiner dan 0,3 m kan sprake zijn van een overgangssituatie tussen golfoverslag en overloop. Aangezien overloop veel gevoeliger is voor afwijkingen in Toetspeil + toeslagen, is bij kleine marges geavanceerde toetsing nodig (stap 5c). Bij marges groter dan of gelijk aan 0,3 m wordt de toetsing voortgezet met stap 3.2.

Stap 3: Standzekerheid en beheersmatige gevolgen

Het water dat over de kruin stroomt door overloop of golfoverslag kan de standzekerheid van het kunstwerk aantasten of het beheer tijdens hoogwater bemoeilijken. In deze stap wordt de standzekerheid getoetst en, afhankelijk van de belastingsituatie, ook de invloed op het te voeren beheer.

Stap 3.1: Standzekerheid bij beperkte overslagdebieten

Bij overslagdebieten tussen 0,1 en 10 l/m/s wordt alleen de standzekerheid van het kunstwerk ten gevolge van golfoverslag getoetst. De golfoverslag kan leiden tot aantasting van constructieonderdelen waardoor de standzekerheid in gevaar komt. Bij deze toetsing moet ten eerste de erosiebestendigheid van het kunstwerk zelf worden getoetst (kruin en binnenzijde). Daarnaast is een specifiek aandachtspunt de erosie van bekleding achter zogeheten 'droge' constructies, zoals keermuren en coupures waarachter geen waterbekken ligt. Als binnendijs sprake is van een bekleed talud kan de bekleding beoordeeld worden conform Katern 8. Per bekledingstype is in de hoofdschema's aangegeven hoe met bekledingen op een binnentalud moet worden omgegaan:

- **steenettingen** (zie hoofdstuk 2 van Katern 8)
- **asfalt** (zie hoofdstuk 3 van Katern 8)
- **gras** (zie hoofdstuk 4 van Katern 8)

Voor toetsing van bekleding achter keermuren en coupures op overstortend water en voor toetsing van andere bekledingstypes is specialistische hulp nodig. Naast de beoordeling van de bekledingen is aandacht nodig voor de overgangsconstructies tussen harde constructieonderdelen en bekleding.

De slechtste score van alle constructieonderdelen is de tussenscore voor deze stap. Bij een tussenscore 'onvoldoende' is dat tevens de eindscore, in andere gevallen moet de kruinhoogtemarge nog worden gecontroleerd: bij een score 'goed' wordt de toetsing voortgezet met stap 4a, bij een score 'voldoende' met stap 4b.

Stap 3.2: Standzekerheid en beheersmatige gevolgen bij grote overslagdebieten

Bij grote overslagdebieten (10 l/m/s en hoger) moet niet alleen de standzekerheid van het kunstwerk worden beoordeeld, maar ook de gevolgen ten aanzien van toegankelijkheid en wateroverlast. De slechtste score van beide aspecten is de eindscore.

Voor de toets op standzekerheid geldt dezelfde werkwijze als beschreven bij stap 3.1.

Bij de toets op beheersmatige gevolgen van golfoverslag gaat het om de consequenties voor de veiligheid ten aanzien van begaanbaarheid en waterbezwaar. Bij hoge overslagdebieten kan het kunstwerk onbegaanbaar zijn en daardoor niet bereikbaar voor inspectie of reparatie. De beheerder moet inschatten of dit de veiligheid in gevaar brengt. In dat geval is de eindscore 'onvoldoende'.

Als onbegaanbaarheid niet leidt tot een score 'onvoldoende', dan moet het waterbezwaar in het achterliggend gebied worden beoordeeld. Hiervoor moet rekening gehouden worden met het totale waterbezwaar in het dijkkringgebied onder maatgevende omstandigheden. Tevens dient het waterbezwaar over het gehele kunstwerk beschouwd te worden in plaats van per constructieonderdeel. Het toelaatbare overslagdebiet is afhankelijk van het toelaatbare waterbezwaar van het achtergelegen gebied:

- alleen als berging of afvoermogelijkheden zodanig beperkt zijn dat de golfoverslag de veiligheid in gevaar kan brengen, is de eindscore 'onvoldoende';
- als de golfoverslag uit het oogpunt van berging en afvoer onacceptabele overlast veroorzaakt, maar de veiligheid niet bedreigt, is sprake van een beheersprobleem. De tussenscore voor het aspect beheersmatige gevolgen is 'voldoende';
- als de golfoverslag uit het oogpunt van berging en afvoer geen of acceptabele overlast veroorzaakt, is de tussenscore voor het aspect beheersmatige gevolgen 'goed'.

De toetsing van de aspecten standzekerheid en beheersmatige gevolgen kan op gedetailleerd en zo nodig op geavanceerd niveau worden uitgevoerd. Bij toetsing op geavanceerd niveau kunnen onzekerheden in de waterstandsvoorspellingen en de golfhoogtevoorspellingen worden meegenomen in de beoordeling.

De slechtste score van de aspecten standzekerheid en beheersmatige gevolgen is de eindscore.

Stap 3.3: Standzekerheid en beheersmatige gevolgen bij overloop

In de situatie dat Toetspeil + toeslagen hoger dan de kruinhoogte is, treedt overloop op. Het debiet over de kruin kan de standzekerheid van het kunstwerk bedreigen en onacceptabele beheersmatige gevolgen hebben. Beide aspecten moeten worden beoordeeld. De slechtste score van beide aspecten is de eindscore.

Voor kunstwerken met overloop is de kruinhoogtemarge van groot belang, want een overschrijding van de verwachte waterstand met enkele decimeters leidt tot een significant grotere hoeveelheid te bergen of af te voeren water. In lijn met de ontwerpmethode uit Leidraad Kunstwerken [26] wordt daarom in de toetsstap gewerkt met een veiligheidsmarge van 0,3 m. De toetsing in deze stap moet dus voor beide aspecten worden uitgevoerd met een gereduceerde kruinhoogte die 0,3 m lager is dan de kruinhoogte h_{kr} op de peildatum.

De toetsing op het aspect standzekerheid betreft de beoordeling of de constructieonderdelen en overgangsconstructies bestand zijn tegen de optredende stroomsnelheden en turbulentie, rekening houdend met de gereduceerde kruinhoogte. Eventuele bekledingen aan binnendijkse zijde vormen een specifiek aandachtspunt. Voor de beoordeling op standzekerheid onder overloop is specialistische hulp nodig.

Bij de beoordeling op het aspect beheersmatige gevolgen van overloop gaat het om de veiligheidsconsequenties ten aanzien van begaanbaarheid en waterbezwaar.

Bij overloop is in ieder geval een deel van het kunstwerk onbegaanbaar en niet bereikbaar voor inspectie of reparatie. De beheerder moet inschatten of dit de veiligheid in gevaar brengt; in dat geval is de eindscore ‘onvoldoende’. Bij deze beoordeling moet worden uitgegaan van de gereduceerde kruinhoogte.

Als onbegaanbaarheid niet leidt tot een score ‘onvoldoende’ moet het waterbezwaar in het achterliggend gebied worden beoordeeld. Hiervoor moet rekening gehouden worden met het totale waterbezwaar in het dijkkringgebied onder maatgevende omstandigheden. Vanzelfsprekend hoeft de gereduceerde kruinhoogte alleen in rekening te worden gebracht voor de kunstwerken die worden belast op overloop. Tevens dient het waterbezwaar over het gehele kunstwerk beschouwd te worden in plaats van per constructieonderdeel. Bij de berekening van het overloopdebiet over het kunstwerk moet ook rekening worden gehouden met de invloed van golven.

Het toelaatbare instroomdebiet is afhankelijk van het toelaatbare waterbezwaar van het achtergelegen gebied:

- alleen als berging of afvoermogelijkheden zodanig beperkt zijn dat de overloop de veiligheid in gevaar kan brengen, is de eindscore ‘onvoldoende’;
- als de overloop uit het oogpunt van berging en afvoer onacceptabele overlast veroorzaakt, maar de veiligheid niet bedreigt, is sprake van een beheersprobleem. De tussenscore voor het aspect beheersmatige gevolgen is ‘voldoende’;
- als de overloop uit het oogpunt van berging en afvoer geen of acceptabele overlast veroorzaakt, is de tussenscore voor het aspect beheersmatige gevolgen ‘goed’.

De slechtste score van de aspecten standzekerheid en beheersmatige gevolgen is de eindscore.

Stap 4: Marge tussen kruinhoogte en Toetspeil + toeslagen bij overslag

Berekend moet worden hoe groot de marge tussen Toetspeil + toeslagen en de kruinhoogte is. Bij de bepaling van kruinhoogte h_{kr} moet rekening worden gehouden met zetting en klink, zie § 3.1 van Katern 5. De maatgevende waterstand voor dit criterium is het actuele Toetspeil + toeslagen.

Deze stap wordt alleen doorlopen als $q < 10$ l/m/s. De stap kan op twee manieren worden bereikt: vanuit stap 2.1 als $q < 0,1$ l/m/s en vanuit stap 3.1. De inhoud van stap 4 is in beide gevallen exact hetzelfde, maar de twee gevallen worden onderscheiden omdat het vervolg van de toetsing verschilt.

Alleen voor geval 4a kan de score ‘goed’ worden toegekend als de marge tussen kruinhoogte en waterstand groter of gelijk aan 0,3 m is. Als de marge kleiner dan 0,3 m, is er mogelijk sprake van overgangssituatie tussen de faalmechanismen overloop en overslag. Zoals opgemerkt bij stap 2.3: het mechanisme overloop is veel gevaarlijker voor de veiligheid dan het mechanisme overslag en het overloopdebiet is zeer gevoelig voor onnauwkeurigheden in de maatgevende waterstand. In die situatie is daarom zowel in geval 4a als 4b geavanceerde toetsing nodig om aan te tonen dat de veiligheid niet in gevaar wordt gebracht door de kans op overloop (stap 5a en 5b).

Voor stap 4a is de hoogst haalbare score ‘goed’, voor stap 4b is de hoogst haalbare score ‘voldoende’. Deze hoogst haalbare scores gelden als de marge groter is dan 0,3 m. Anders wordt de toetsing voortgezet met stap 5a of 5b.

Stap 5: Geavanceerde beoordeling

Als er sprake is van een overgangssituatie tussen de faalmechanismen overloop en overslag, is geavanceerde toetsing nodig. Hiervoor is inzet van specialisten nodig. Daarbij kan onder meer worden beschouwd in hoeverre de onzekerheden in de maatgevende waterstand worden afgedekt door de marge tussen kruinhoogte en Toetspeil + toeslagen.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de gevallen 5a, 5b en 5c. geval 5a wordt bereikt bij overslagdebieten kleiner dan 10 l/m/s waarbij de standzekerheid de score 'goed' krijgt. Geval 5b wordt bereikt bij overslagdebieten tussen 0,1 l/m/s en 10 l/m/s waarbij de standzekerheid de score 'voldoende' krijgt. In geval 5c is het overslagdebiet groter dan 10 l/m/s en de kruinhoogtemarge is kleiner dan 0,3 m. Het karakter van de toetsing is in de gevallen 5a en 5c hetzelfde. In geval 5c moeten de standzekerheid en de beheersmatige aspecten eveneens beoordeeld worden in de geavanceerde toetsing.

Indien uit de geavanceerde beoordeling volgt dat de veiligheid bedreigd wordt, is de score 'onvoldoende'. De hoogst haalbare score in deze stap is 'voldoende' omdat de kruinhoogtemarge in alle gevallen kleiner is dan 0,3 m, waardoor niet van ontwerpqualiteit conform de Leidraad Kunstwerken [26] kan worden gesproken.

M

4.1.2 Toets op Hoogte HT van harde en demontabele Maaskaden

De toets op hoogte van kunstwerken volgens § 4.1.1 is volledig toepasbaar voor de waterkerende kunstwerken in de Maaskaden, maar voor de harde en demontabele kaden in dit gebied is de methode nader uitgewerkt in lijn met de ontwerpmethodiek.

De harde en demontabele kaden functioneren ten aanzien van de kruinhoogte op vergelijkbare wijze als groene kaden en dijken. De toetsing op Hoogte HT van deze waterkeringen verloopt daarom op vergelijkbare wijze als voor de groene kaden zoals beschreven in § 4.1.2 van Katern 5. Dat betekent onder meer dat overloop en golfoverslag als aparte sporen worden getoetst, en dat de ontwerpregels van project De Maaswerken een rol spelen. Let op dat deze afwijkende werkwijze alleen geldt voor de harde en demontabele kaden, niet voor de overige kunstwerken in het Maaskadengebied.

De toetsschema's en bijbehorende toetsregels voor groene kaden worden beschreven in § 4.1.2 van Katern 5. Deze zelfde schema's en toetsregels worden toegepast voor de harde en demontabele kaden, maar er zijn twee punten waarop de harde en demontabele kaden anders worden behandeld dan de groene kaden:

Toets op Overloop HTL, stap 2 in Figuur 5 - 4.3:

De toetsregel voor harde en demontabele kaden heeft een andere kruinhoogtemarge, in lijn met de ontwerpregels van project De Maaswerken. De toetsregel is als volgt:

$$| h_{kr} \geq \text{Toetspeil} + \text{toeslagen} + 0,2 \text{ m}$$

Waarin h_{kr} de absolute kruinhoogte is in meters ten opzichte van NAP op de peildatum.

Toets op Golfoverslag HTG, stap 1 in Figuur 5 - 4.4:

In stap 1 van deze toets wordt een score 'goed' gegeven als het overslagdebiet q verwaarloosbaar is. Voor harde en demontabele kaden met aan de landzijde een aansluitende dichte bekleding kan worden gerekend met een grotere waarde voor dit verwaarloosbare overslagdebiet, namelijk 1 l/m/s.

m

4.2 Stabiliteit en sterkte (ST)

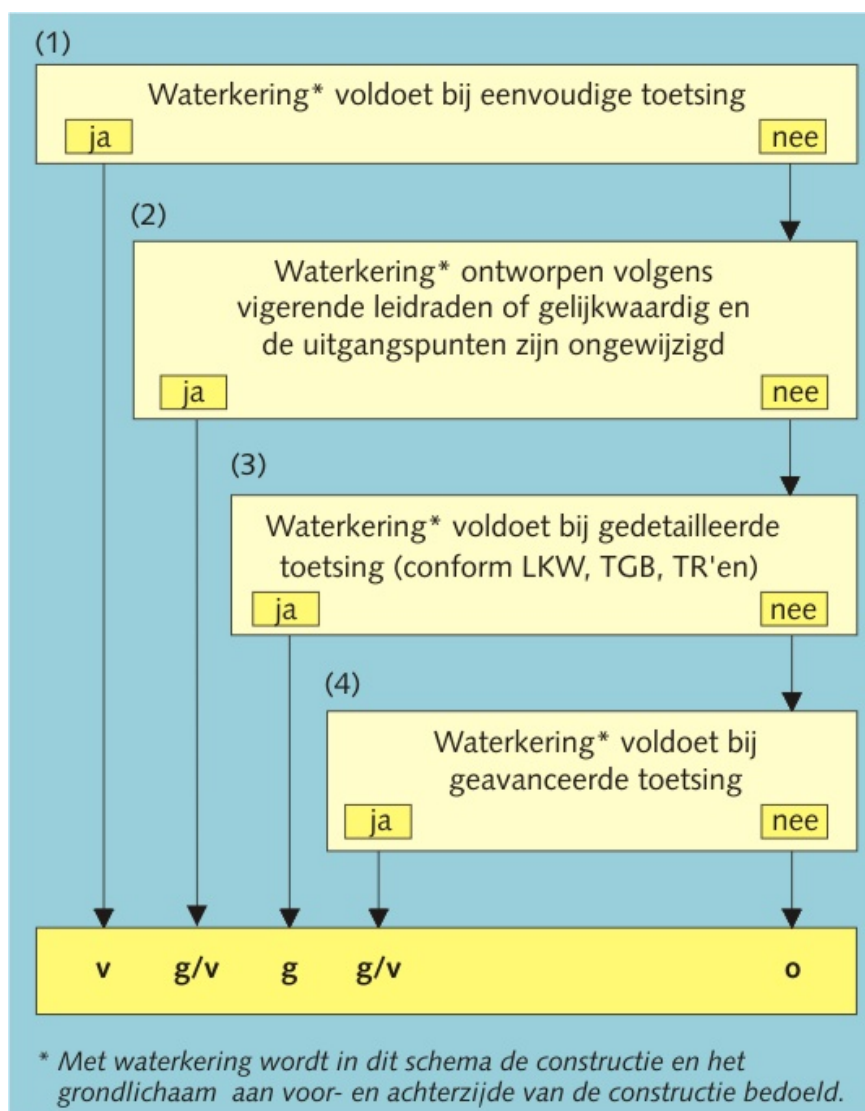
4.2.1 Beoordelingsschema

De toetsing op Stabiliteit en sterkte omvat de volgende beoordelingssporen:

- Stabiliteit van de constructie en grondlichaam (STCG);
- Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen (STCO);
- Piping en heave (STPH);

Voor deze deelsporen is één algemeen schema opgesteld, zie Figuur 7 - 4.2.

Figuur 7 - 4.2
Beoordelingsschema voor stabiliteit van waterkerende kunstwerken (ST)



Stap 1: Eenvoudige toetsing Stabiliteit en sterkte

Alvorens over te gaan tot herberekeningen zijn vaak benaderingen mogelijk.

Een mogelijke benadering kan zijn om, bijvoorbeeld aan de hand van de resultaten van de oorspronkelijke ontwerpberekeningen, een eenvoudige controle uit te voeren waaruit kan volgen dat de aanwezige veiligheid ten minste even groot is als de vereiste.

Ook is het soms mogelijk om het principe van ‘bewezen sterkte’ toe te passen: met name bij de sporen Stabiliteit van de constructie en grondlichaam en Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen kan dit een haalbare werkwijze zijn, omdat operationele of onderhoudsomstandigheden maatgevend kunnen zijn. Dit laatste kan bijvoorbeeld leiden tot de constatering dat zelfs bij de toetsbelasting nog een zekere veiligheidsmarge aanwezig is.

Benadrukt wordt dat toetsing volgens de principes van bewezen sterkte van een veel ingewikkelder niveau is dan de eenvoudige toetsing van veel andere sporen in dit Voorschrift: bij deze stap zal rekening moeten worden gehouden met alle aspecten volgens het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48] (dat Technisch Rapport is weliswaar opgesteld voor dijken, maar de principes zijn ook toepasbaar voor kunstwerken). Desondanks wordt deze methode in dit geval genoemd onder de eenvoudige toetsing, omdat ten opzichte van de vervolgstappen vaak veel minder en veel eenvoudiger te verzamelen gegevens volstaan. Voor het spoor Piping en heave STPH bestaat geen uitgewerkte methode voor bewezen sterkte; daarvoor kan dit principe alleen in de geavanceerde toetsing worden toegepast.

Door de grote diversiteit in soorten en types kunstwerken is het niet mogelijk algemeen geldende richtlijnen voor de eenvoudige toetsing te geven. Dit houdt ook in dat een dergelijke eenvoudige toets in vele gevallen specialistenwerk is. Het niveau van deze toets is grofmazig en kan leiden tot het oordeel 'voldoende'.

Overigens bestaat voor Piping en heave STPH wel een eenvoudige toetsing, zie § 4.2.4.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

In deze stap wordt nagegaan of de constructie op basis van vigerende leidraden en technische rapporten is ontworpen en uitgevoerd. Voor 'recent' gebouwde constructies is dit normaal gesproken het geval. In dat geval moeten de volgende controles worden uitgevoerd:

- de toetsrandvoorwaarden (belastingen) zijn niet ongunstiger dan de ontwerprandvoorwaarden;
- de conditie is in orde;
- het gebruik vindt plaats binnen de in het beheersplan vastgelegde gebruiksspecificaties.

Oudere constructies zijn niet conform vigerende leidraden en technische rapporten ontworpen. Gevolgde ontwerpregels voldoen daardoor niet vanzelfsprekend aan huidige inzichten t.a.v. de vereiste waterkerende veiligheid. In dat geval zijn bij het uitvoeren van de hiervoor genoemde controles met name ook de volgende drie aandachtspunten van belang:

- bij de overgang van de oude naar de nieuwe TGB is niet gecontroleerd op trendbreuk voor waterbouwkundige constructies. Onder andere om dat te herstellen is later in de groene versie van de Leidraad Kunstwerken [26] de belastingfactor 1,25 op MHW geïntroduceerd;
- voor het verschijnen van de groene versie van de Leidraad Kunstwerken [26] werd geen expliciete eis gesteld aan de betrouwbaarheid van de sluiting. Dit houdt in dat moet worden nagegaan of de constructie sowieso geschikt is om aan de vereiste betrouwbaarheid te kunnen voldoen. Indien dit het geval is moeten de gebruiksspecificaties waaronder dit het geval is worden vastgelegd in het beheersplan. Indien dit niet het geval is zal verbetering nodig zijn;
- niet altijd is expliciet op het aanvaarrisico van het waterkerende kunstwerk gecontroleerd (dit speelt met name bij schutsluizen). In dat geval moet alsnog worden nagegaan of dit risico aanvaardbaar klein is, en moeten de voorwaarden waaronder dit zo is, worden vastgelegd in het beheersplan. Indien het aanvaarrisico te groot is zal verbetering nodig zijn.

Indien de belastingen beperkt hoger zijn dan wat in het ontwerp is aangenomen, hoeft niet direct een herberekening te volgen. Afwijkingen tot 2,5% op de rekenwaarde van de belasting zijn zeker toelaatbaar; in dat geval kan weliswaar geen score 'goed', maar wel een score 'voldoende' worden toegekend. Deze regel kan zinnig zijn voor elk van de drie deelsporen. Voorwaarde is wel, dat aangetoond is dat de sterkte niet achteruit is gegaan ten opzichte van de ontwerpwaarde. Het kan zinnig zijn om per geval te onderzoeken of nog grotere afwijkingen toelaatbaar zijn. Met nadruk wordt opgemerkt dat deze stap in veel gevallen niet uitvoerbaar zal zijn omdat de gegevens ontbreken.

Stap 2 zal alleen met een positief antwoord doorlopen kunnen worden indien de met het oog op waterkerende veiligheid relevante gegevens compleet zijn verzameld (voor wat betreft de ontwerpuitgangspunten/gebruiksspecificaties in bijvoorbeeld een zogenaamd 'oplegblad voor het ontwerp' (zie Leidraad Kunstwerken [26]) en voor wat betreft de conditie en gebruiksspecificaties in het beheersregister of beheersplan).

Indien deze stap niet met een positief antwoord doorlopen kan worden, moet in de volgende stappen nader onderzoek worden uitgevoerd.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Stabiliteit en sterkte

In deze stap wordt een herberekening uitgevoerd conform de rekenregels en methodes in de vigerende leidraden en normen. Zie hiervoor met name de NEN-normen (TGB), de Leidraad Kunstwerken [26], het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] en het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11]. Hiervoor is de hulp van deskundigen nodig.

Indien de onderhoudstoestand en de actuele conditie van de constructie niet goed of onbekend is, dient van veilige aannamen op dit punt te worden uitgegaan, en is het soms weinig zinvol de toetsing voort te zetten. In dat geval dient eerst de conditie nader te worden onderzocht.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Stabiliteit en sterkte

Kenmerkend voor de geavanceerde toetsing is dat specialistische inbreng nodig is. Voor dit spoor kan bijvoorbeeld worden gedacht aan niet-stationaire berekeningen en probabilistische berekeningen. Daarbij kan ook (mits beargumenteerd) een andere verdeling van de faalkansruimte tussen de toetssporen worden toegepast dan in de Leidraad Kunstwerken [26].

4.2.2 Stabiliteit van constructie en grondlichaam (STCG)

De constructie en het grondlichaam dat de constructie omsluit dienen integraal te worden beoordeeld op stabiliteit. Het beoordelingschema volgt het schema van Figuur 7 - 4.2. De beoordeling per stap is toegelicht in § 4.2.1 van dit katern. In verband met de enorme diversiteit in types constructies en lokale omstandigheden worden de stappen niet nader uitgewerkt.

Het gaat in dit spoor om de weerstand tegen beweging en vervorming van de constructie als geheel, niet van de onderdelen. De onderdelen worden beoordeeld in toetsspoor Sterke van (waterkerende) constructieonderdelen (§ 4.3.2).

Een constructie is in de regel een onderbreking in een uit grond opgebouwd profiel. Tussen het 'ongestoorde grondprofiel' en het kunstwerk bevindt zich een grondlichaam dat door de aanwezigheid van het kunstwerk wordt beïnvloed. Bij de hier beschouwde beoordeling staat de stabiliteit van de constructie als geheel en die van het grondlichaam rond en onder de constructie centraal. Interactie tussen grondlichaam en constructie kan een essentieel onderdeel zijn van de stabiliteitbeschouwing, denk hierbij bijvoorbeeld aan grondkerende constructies.

Te toetsen aspecten en daaruit volgende faalmechanismen kunnen zijn:

- draagvermogen van een fundering op palen (op druk belast, op trek belast, horizontaal belast);
- draagvermogen van een fundering op staal;
- stabiliteit van grondkerende constructies zoals damwanden en keermuren;
- macrostabiliteit van het grondlichaam aansluitend op de constructie of het grondlichaam inclusief de constructie. Hiervoor kan de beoordeling op de sporen Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts volgens Katern 5 worden gevolgd, met dien verstande dat ook belastingen in rekening moeten worden gebracht die via of vanuit de constructie op het grondlichaam worden afgedragen;
- instabiliteit van het voorland (afschuiving of zettingsvloeiing). Voor de beoordeling van dit onderdeel wordt verwezen naar toetsspoor Voorland in Katern 9;
- erosie van bekleding. Voor de beoordeling van dit onderdeel wordt verwezen naar Katern 8, waarin de toetsing per bekledingstype wordt behandeld.

4.2.3 Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen (STCO)

Het beoordelingsschema komt overeen met het schema van Figuur 7 - 4.2. Ook bij dit toetsspoor geldt dat in verband met de enorme diversiteit in types constructies en lokale omstandigheden, de stappen niet nader worden uitgewerkt.

Op de constructie aansluitende grondlichamen worden in het algemeen niet als onderdeel van de constructie gezien. Toetsing hiervan vindt plaats bij het toetsspoor Stabiliteit van constructie en grondlichaam in § 4.2.1 van dit katern. Wel wordt opgemerkt dat diverse belastingen via de aansluitende grondlichamen direct invloed kunnen uitoefenen op constructieonderdelen.

De beoordeling van de sterkte van constructieonderdelen begint met het selecteren van de kritieke onderdelen en de maatgevende belastingen en belastingcombinaties daarop. In eerste instantie kan onderscheid worden gemaakt tussen afsluitmiddelen en overige onderdelen van de constructie. De overige te toetsen onderdelen zijn in de regel betonconstructies of oudere gemetselde constructies. Andere constructies, zoals bijvoorbeeld leidingen, worden in andere katernen (o.a. Katern 10) uitgewerkt.

Nadrukkelijk wordt erop gewezen dat ook Toetspeil + toeslagen de maatgevende belastingsituatie kan opleveren, vooral bij is dit het geval. Keersluizen, stormvloedkeringen e.d. hebben in kerende toestand een relatief kleine aanvaarkans. Tijdens situaties bij Toetspeil zal scheepvaart slechts op enkele plekken voorkomen; alleen op dergelijke plekken en daar waar losgeslagen of op drift geraakte schepen in stormsituaties of iets dergelijks denkbaar zijn, heeft een dergelijke toetsing zin. Aangenomen mag worden dat schippers geen intentie hebben om door een kunstwerk te varen. Per geval moet worden onderzocht of toetsing op aanvaarbelaasting een relevante controle is. Aanvullende informatie over bevaarbaarheid of toegankelijkheid van vaarwegen kan worden gevonden in de vaarwegreglementen (Binnenvaart Politiereglement e.d.).

Een groter risico is aanwezig tijdens dagelijks gebruik van (met name) sluisen. De aanvaarkans van een deur in een scheepvaartsluis is orde 1:33.000 nivelleringen. Bij een beoordeling van dit aspect zijn echter weer vele factoren van belang:

- de waterstanden waarbij een uitgevaren deur tot een probleem zou kunnen leiden;
- de geometrie van de constructie (aantal, type en positie van aanwezige deuren);
- het type scheepvaart;
- procedurele en fysieke maatregelen om de kans op aanvaring te beperken;
- de aanvaringsbestendigheid van de 'dagelijkse keermiddelen';
- de omvang van voor en achter de constructie gelegen gebieden.

4.2.4 Piping en heave (STPH)

De beoordeling van kunstwerken op Piping en heave volgt het schema in Figuur 7 - 4.2. Dit schema heeft dezelfde opbouw als dat van Piping en heave bij dijken en dammen. In navolgende tekst worden tevens de termen onder- en achterloopsheid gehanteerd. Piping en heave worden ook wel aangeduid met onderloopsheid indien de kwelweg onder de constructie en eventuele kwelschermen doorloopt. Achterloopsheid wordt gebruikt indien de kwelwegen aan weerszijden (in lengterichting van de waterkering) langs de constructie of kwelschermen lopen.

Hieronder volgt een toelichting per stap.

Stap 1: Eenvoudige toetsing Piping en heave

De score voor Piping en heave is 'voldoende' indien wordt voldaan aan alle van de hieronder genoemde criteria:

- de constructie is niet op palen gefundeerd;
- de constructie en eventuele kwelschermen worden rondom door een slecht doorlatend klei-/veenpakket omsloten;
- na zetting aan het eind van de toetsperiode is de constructie rondom nog steeds minimaal 1 m ingebed in een klei-/veenpakket waarbij er geen in- of uittredepunten voor piping via de aansluiting tussen grond en constructie kunnen ontstaan;
- het klei-/veenpakket aan de buitendijkse en binnendijkse zijde van de waterkering is stabiel (zie § 4.2.1);
- onder het kunstwerk aanwezige zandlagen zijn beoordeeld als 'goed' of 'voldoende' volgens toetsspoor Piping en heave uit Katern 5.

Indien niet aan bovenstaande criteria wordt voldaan dan dient verder te worden getoetst met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Als het kunstwerk met omliggend grondlichaam niet zonder meer als veilig kan worden beschouwd (op basis van stap 1), moet de wijze van ontwerpen worden nagegaan. Als ontworpen is volgens het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] of de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] dan wordt doorgegaan met stap 5, in de overige gevallen met stap 3.

Vele bestaande waterkeringen zijn ontworpen vóór het gereed komen van de TAW/ENW-ontwerpleidraden. Deze ontwerpen zijn niet gebaseerd op algemeen erkende grondslagen, waardoor de kwaliteit van het ontwerp kan variëren tussen geavanceerd en ambachtelijk. Met name de grondmechanische gegevens waarop het ontwerp werd gebaseerd en de wijze waarop met die gegevens werd omgegaan verschilde sterk. Als er een oud rapport beschikbaar is, kan worden nagegaan of de rapportage voor wat betreft de controle op onder- en achterloopsheid voldoende overeenkomt met de methodiek zoals in bovengenoemde rapporten is verwoord. Deze beoordeling dient door deskundigen te worden verricht.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Piping en heave

De basis van de gedetailleerde toetsing is een analyse van alle mogelijke kwelwegen onder en langs het kunstwerk. In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] zijn verschillende methodes beschreven waarmee de minimaal vereiste kwelweglengte kan worden bepaald. In het bijzonder voor kunstwerken dienen de volgende zaken in acht te worden genomen:

- mogelijke kwelwegen dienen ruimtelijk te worden beschouwd. In het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] is een voorbeeld gegeven van een driedimensionale analyse van kwelwegen onder en langs een keersluis;

- indien er palen onder de constructie aanwezig zijn dan moet worden uitgegaan van het ontstaan van een open ruimte (spleet) tussen onderkant constructie en ondergrond. Als gevolg hiervan dient de horizontale kwelweglengte onder de constructie te worden verwaarloosd;
- indien er alleen bovenstreams een onderloopsheidscherm aanwezig is, mag de horizontale lengte onder de constructie van het scherm tot aan het uittreepunt niet worden meegenomen.

Verdieping van de toetsing kan in de volgende richtingen plaatsvinden:

Stap 3.1 modelmatige verfijning (conform vigerende technische rapporten);

Stap 3.2 gegevensverzameling.

Stap 3.1: Modelmatige verfijning

Voor piping kan gebruik gemaakt worden van de methode Lane. Indien er uitsluitend sprake is van een horizontale kwelweglengte kan gebruik gemaakt worden van de eenvoudige methode Bligh of de meer gedetailleerde methode Sellmeijer. Indien er sprake is van een heave-situatie (de kwelstroom ter plaatse van het uittreepunt is verticaal) dan kan worden getoetst op heave met behulp van een grondwaterstromingsberekening of met de fragmentenmethode indien deze bruikbaar is voor de specifieke situatie.

In Katern 5 van dit Voorschrift is een rekenschema voor Piping en heave opgenomen en in het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11] wordt nader ingegaan op de rekenmodellen die kunnen worden gebruikt voor een gedetailleerde toetsing op Piping en heave.

Stap 3.2: Gegevensverzameling

Hierbij moet worden gedacht aan gegevensverzameling omtrent de ondergrond, het kunstwerk, de fundering van het kunstwerk en de aansluiting van grond op de constructie. Voor gegevensverzameling met betrekking tot de ondergrond wordt verwezen naar de gedetailleerde toetsing op Piping en heave zoals beschreven in Katern 5.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Piping en heave

Indien op grond van de gedetailleerde toetsing geen eindscore kan worden toegekend ten aanzien van Piping en/of heave, wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd. Voor Piping en heave bestaan verschillende methodes die, afhankelijk van de situatie, een scherpere beoordeling mogelijk maken. Er zijn echter ook situaties waarin geavanceerde toetsing niet zinnig is omdat de kans verwaarloosbaar is dat geavanceerde toetsing tot een score 'goed' of 'voldoende' leidt. Het is daarom verstandig om als eerste aanpak van een geavanceerde toetsing na te gaan of geavanceerde toetsing zin heeft en welke methodes in aanmerking komen. Ook voor deze eerste aanpak is specialistische kennis nodig.

In sommige gevallen is het zinvol om voor de analyse van piping of heave gebruik te maken van geavanceerde grondwaterstromingsmodellen. Hierbij kan worden gedacht aan:

- niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de duur van hoogwater relatief kort is, zoals bijvoorbeeld bij dijken in een getijdengebied;
- ruimtelijke grondwaterstromingsmodellen (driedimensionaal of quasi-driedimensionaal) voor situaties waarbij de geometrie of laagopbouw niet uniform is in de richting van de waterkering of loodrecht op de waterkering.

Deze modellen kunnen worden gebruikt om een betere inschatting te kunnen maken van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden of om het uittreeverhang te kunnen bepalen. In de vigerende technische rapporten zijn geen algemene criteria opgenomen met betrekking tot het kritieke uittreeverhang voor het mechanisme piping. Bij de beoordeling van het berekende uittreeverhang is specialistische kennis omtrent het faalmechanisme piping vereist.

Ook is het mogelijk om een probabilistische piping- of heave-analyse uit te voeren. Voor een dergelijke aanpak zijn specialistische kennis en rekenmodellen vereist.

Een laatste mogelijkheid in geavanceerde toetsing is het principe van 'bewezen sterkte'. Er zijn kunstwerken waarbij het maatgevende verval bij Toetspeil + toeslagen al eens in het verleden tijdens onderhouds- of inspectiewerkzaamheden is opgetreden of zelfs is overschreden. In dit geval kan een toetsing op basis van bewezen sterkte zinvol zijn. Voor deze aanpak is het van belang dat omstandigheden in het verleden vergelijkbaar zijn met de huidige maatgevende omstandigheden. In het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48] staat een uitgewerkte methode voor het spoor Macrostabieliteit binnenwaarts voor grondlichamen; met behulp van specialistische kennis is het soms mogelijk om deze methode toe te passen voor piping bij kunstwerken.

M m

4.3 Betrouwbaarheid sluiting (BS)

De toets op de Betrouwbaarheid van de sluiting BS van waterkerende kunstwerken is uitgewerkt in § 4.3.1. Een concrete uitwerking voor harde en demontabele Maaskaden is opgenomen in § 4.3.2.

4.3.1 Algemeen

De beoordelingsmethode in deze paragraaf volgt het schema in Figuur 7 - 4.3. In de beschrijving van de stappen wordt veelal verwezen naar de Leidraad Kunstwerken [26] waar, in bijlage B3, de betrouwbaarheid van sluiting van waterkerende kunstwerken of bijzondere constructies met afsluitmiddelen wordt behandeld.

Een eindscore 'goed' kan zonder rekenwerk worden toegekend in twee gevallen: op basis van de gebruikte specificaties (stap 1.1), of op basis van een eerder uitgevoerde risico-analyse (stap 1.2). Als uit stap 1 geen score 'goed' volgt, moet de toetsing worden vervolgd met één van de drie volgende methodes:

- de gedetailleerde methode (voor zelden bediende en vaak belaste afsluitmiddelen);
- de gereduceerde eenvoudige methode (voor vaak bediende afsluitmiddelen die normaliter gesloten zijn);
- de volledige eenvoudige methode (voor de overige gevallen).

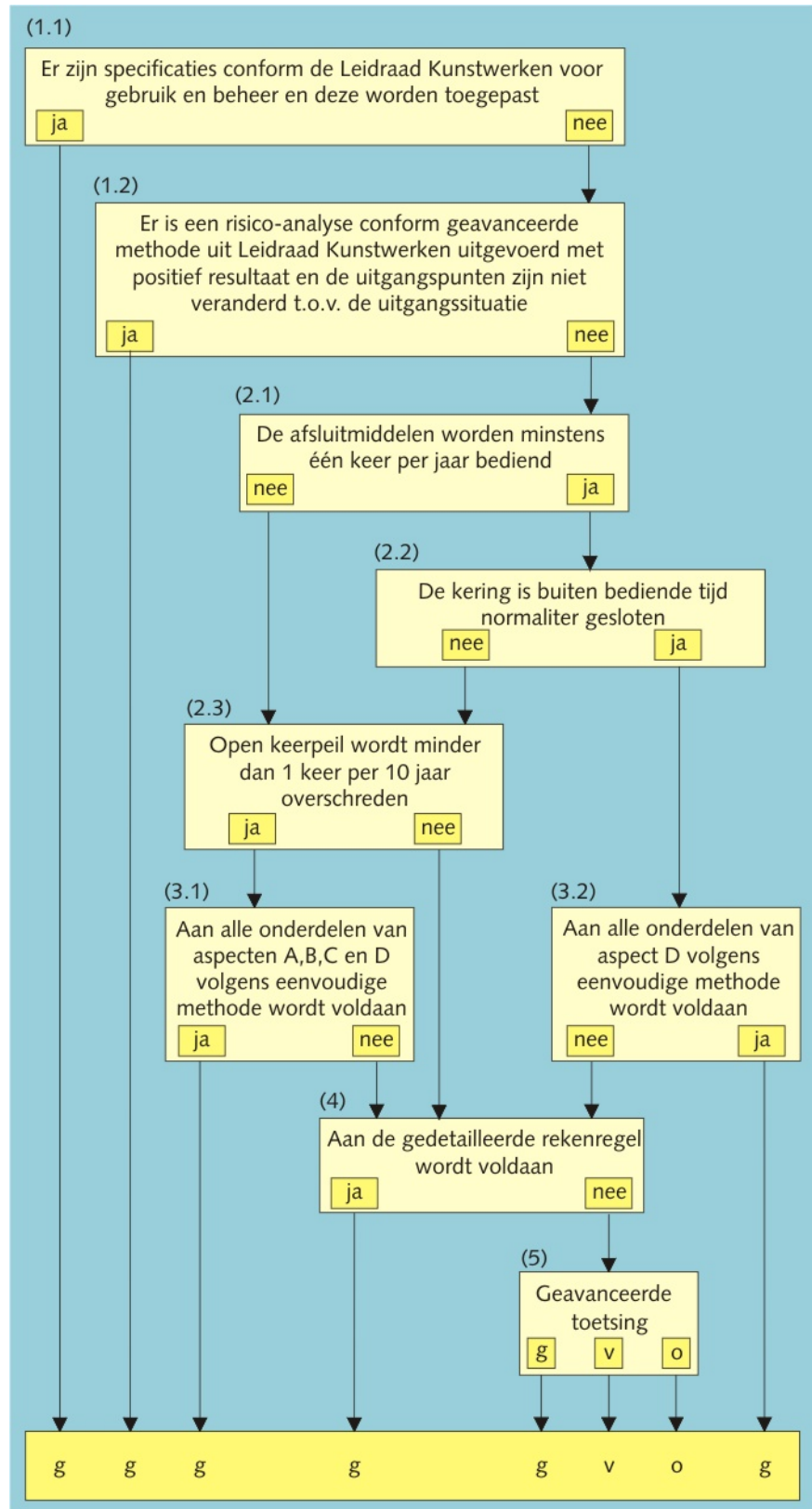
In stap 2 wordt bepaald met welk van deze methodes de toetsing na stap 1 kan worden voortgezet:

- Stap 3 bestaat uit een toetsing volgens de gereduceerde Eenvoudige methode en de volledige Eenvoudige methode;
- Stap 4 bestaat uit een toetsing volgens de Gedetailleerde methode.

Als niet aan de eisen van stap 3 wordt voldaan, moet alsnog stap 4 worden doorlopen. Vanuit stap 4 kan verder een tussenscore 'twijfelachtig' worden behaald. Hierop volgt geavanceerde toetsing, stap 5, met als mogelijke tussenscore 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende'.

Figuur 7-4.3

Beoordelingsschema Betrouwbaarheid sluiting BS.
Stap 1: Toetsing zonder rekenwerk



De beoordeling wordt hieronder per stap beschreven.

Stap 1: Toetsing zonder rekenwerk

Een score 'goed' zonder rekenwerk is mogelijk in twee gevallen.

Stap 1.1: Specificaties conform Leidraad Kunstwerken voor gebruik en beheer

In deze stap wordt nagegaan of er reeds specificaties voor gebruik en beheer op een voldoende veiligheidsniveau (conform [26]) zijn vastgesteld. Deze specificaties moeten betrekking hebben op alle aspecten die de betrouwbaarheid van de sluiting bepalen, en omvatten dus zowel 'hardware' (de fysieke onderdelen) als 'software' (procedures, ofwel de manier waarop er mee moet worden omgegaan). De vaststelling van de specificaties moet te traceren zijn, met andere woorden: er moet worden nagegaan of de vaststelling van de specificaties onderbouwd is met de juiste analyses. Bij een positief oordeel wordt een eindscore 'goed' gegeven; bij een negatief oordeel wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

Stap 1.2: Risico-analyse reeds uitgevoerd

Als reeds een risico-analyse is uitgevoerd conform de Leidraad Kunstwerken [26] bijlage B3.5 waaruit blijkt, dat de sluitingsprocedure en -maatregelen aansluiten bij het criterium dat is gesteld voor de betrouwbaarheid van sluiting (dit is $0,1 \times$ norm), dan volgt geen verdere beoordeling; wordt een eindscore 'goed' gegeven. Als eis hierbij moet gelden, dat de uitgangspunten op basis waarvan de risico-analyse is uitgevoerd in de huidige situatie nog moeten kloppen en dat ook het gebruik en beheer conform de uitgangspunten zijn. Zijn de uitgangspunten in de loop der tijd gewijzigd, dan dienen de consequenties hiervan te worden nagegaan. Het gebeurd nog al eens dat waterkerende kunstwerken oneigenlijk worden gebruikt en dat het beheer niet overeenkomt met de oorspronkelijke uitgangspunten die voor het waterkerende kunstwerk golden. Bij een negatief oordeel wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Stap 2: Te volgen toetsmethode

De te volgen toetsmethode (stap 3 en 4) wordt bepaald door drie kenmerken van de bediening van het kunstwerk.

Stap 2.1: Regelmaat bediening van het kunstwerk

Het kunstwerk wordt regelmatig bediend en wel minstens één keer per jaar, bijvoorbeeld in het kader van een veiligheidsinspectie. Als dit het geval is wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2, anders met stap 2.3.

Stap 2.2: Sluiting van het kunstwerk tijdens stormseizoenen buiten de bedieningstijden

Als de gewone afsluitmiddelen van het kunstwerk tijdens het stormseizoen buiten de bedieningstijden normaliter zijn gesloten, valt de bediening van de sluiting van het kunstwerk in principe onder het normale beheer. Daarom mag in dit geval de beoordeling worden beperkt tot aspect (D) van de Eenvoudige methode van toetsing (zie stap 3.2). Hierbij wordt aangemerkt dat stormvloeddeuren niet in alle gevallen normaliter gesloten zijn en dus in sommige gevallen wel nader moeten worden bekeken.

Stap 2.3: Overschrijdingsfrequentie open keerpeil

Als de afsluitmiddelen zelden worden bediend ('nee' in stap 2.1) of als de kering buiten bedieningstijden normaliter open is ('nee' in stap 2.2), is van belang hoe vaak de kering bij hoge waterstanden wordt gesloten, met andere woorden: hoe vaak het zogenaamde open keerpeil wordt overschreden. Is dit meer dan eens per 10 jaar het geval, dan moet de sluiting van de keermiddelen (zoals stormvloeddeuren, schotbalken in coupures) worden getoetst met de Gedetailleerde methode (stap 4). Wordt het open keerpeil minder dan eens per 10 jaar overschreden, dan kan worden getoetst met de Eenvoudige methode (stap 3.1).

Stap 3: Eenvoudige methode Betrouwbaarheid sluiting

In deze stap wordt de toetsing uitgevoerd volgens de gereduceerde Eenvoudige methode of de volledige Eenvoudige methode. Beide methodes resulteren in een eindscore 'goed' of, indien een eindscore volgens de eenvoudige methode niet mogelijk, de toetsing wordt voortgezet met de Gedetailleerde methode in stap 4. De Eenvoudige methode wordt beschreven in bijlage B3.3 van de Leidraad Kunstwerken [26]. Opgemerkt wordt, dat bij de meeste beoordelingssporen de eenvoudige toetsingsmethode in dit Voorschrift zelf wordt beschreven. Het spoor Betrouwbaarheid sluiting vormt hierop een uitzondering omdat alleen voor dit geval ook de eenvoudige methode in een ontwerpleidraad wordt beschreven.

Stap 3.1: Eenvoudige methode Betrouwbaarheid sluiting

Er dient in dit geval te worden voldaan aan alle eisen/aspecten die in de methode (bijlage B3.3 van [26]) zijn omschreven. De eindscore is 'goed' als aan alle eisen/aspecten wordt voldaan. Als niet aan alle eisen/aspecten wordt voldaan, dan wordt de toetsing voortgezet met de Gedetailleerde methode in stap 4.

Stap 3.2: Aspect D van eenvoudige methode

Er dient in dit geval alleen te worden voldaan aan alle eisen die vallen onder Aspect D (bijlage B3.3 van [26]). De eindscore is 'goed' als aan alle eisen onder Aspect D wordt voldaan. Als niet aan alle eisen/aspecten wordt voldaan, dan wordt de toetsing voortgezet met de Gedetailleerde methode in stap 4.

Stap 4: Gedetailleerde methode Betrouwbaarheid sluiting

De gedetailleerde methode wordt beschreven in bijlage B3.4 van de Leidraad Kunstwerken [26]. Voorwaarde om tot een eindscore 'goed' te komen is dat de kans op falen van de afsluitmiddelen voldoende klein is of dat bij falen van de afsluitmiddelen bij maatgevende omstandigheden geen bresgroei optreedt en het waterbezwaar verwerkt kan worden. Dit criterium staat beschreven in Bijlage B1.2.1 (voorwaarde 1b), B1.2.2 en B3.4 (bepaling open keerpeil OKP) van [26]. In andere gevallen is geavanceerde toetsing nodig.

De score is 'goed' als aan een van de volgende voorwaarden is voldaan:

- de faalkans voor sluiting volgens de gedetailleerde methode is kleiner dan $0,1 \times$ de wettelijke norm. In dit geval worden geen eisen gesteld aan de gevolgen bij falen van de sluiting;
- indien de faalkans voor sluiting volgens de gedetailleerde methode groter is dan $0,1 \times$ de wettelijke norm (waardoor er rekening mee gehouden moet worden dat het kunstwerk geopend is bij maatgevende omstandigheden), moet aan de volgende criteria voldaan worden:
 - het kunstwerk is dermate sterk dat de kans op constructief bezwijken bij falen van de afsluitmiddelen kleiner is dan $0,01 \times$ de wettelijke norm;
 - er is geen of weinig kans op bresgroei bij geopende afsluitmiddelen;
 - de kerende hoogte bij geopende afsluitmiddelen is tenminste gelijk aan OKP.

In andere gevallen wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing volgens stap 5. Een met de gedetailleerde methode berekende faalkans groter dan $1,0 \times$ de norm is een aanwijzing dat het systeem mogelijk niet voldoet.

Stap 5: Geavanceerde methode Betrouwbaarheid sluiting

Een waterkering dient een bepaald veiligheidsniveau te bieden tegen overstromen van het erachter gelegen gebied. Die veiligheid kan bestaan uit het veilig keren van waterstanden tot aan Toetspeil + toeslagen of kan bestaan uit het verwerken van het instromend volume bij geopende afsluitmiddelen. In beide gevallen moet het kunstwerk zelf en de aansluiting op het aansluitend grondlichaam sterk genoeg zijn om ongecontroleerde bresgroei te voorkomen. Op grond van deze overwegingen kan een geavanceerde toetsing uitgevoerd worden van het gehele systeem van kunstwerk en omgeving of van een deel van het systeem. De geavanceerde beoordeling is maatwerk en hiervoor is specialistische ondersteuning nodig.

In Bijlage B3.5 van de Leidraad Kunstwerken [26] worden handvatten gegeven voor een scherpere bepaling van de kans op niet-sluiten dan bij de gedetailleerde methode. Daarnaast zijn er echter ook mogelijkheden om geavanceerd om te gaan met andere onderdelen van de methode:

- de faalkansruimte;
- het toelaatbaar instromend volume in combinatie met de sterkte van de constructie;
- de definitie van 'gesloten kunstwerk'.

Faalkansruimte

De methodes van Leidraad Kunstwerken [26], ook op geavanceerd niveau, gaan uit van een vaste faalkansruimte van 0,1-x de wettelijke norm voor het faalmechanisme Betrouwbaarheid sluiting. Het is mogelijk om hiervan af te wijken en een grotere faalkans toe te staan, tussen 0,1-x de norm en 1,0-x de norm. Vanzelfsprekend neemt de faalkansruimte voor andere mechanismen dan af. In de praktijk is dit vooral relevant voor de kruinhoogte, omdat daarvoor normaal gesproken wordt gewerkt met een faalkansruimte gelijk aan de norm. Een grotere faalkans voor Betrouwbaarheid sluiting is dus alleen toegestaan bij een overgedimensioneerde kruinhoogte. In feite is bij deze methode een geïntegreerde toetsing van beide sporen nodig.

Toelaatbaar instromend volume

B3.4 van Leidraad Kunstwerken [26] beschrijft de methode voor bepaling van het Open Keerpeil (OKP), uitgaand van een toelaatbaar instroomvolume. De tekst bevat ook handvatten voor een scherpe bepaling van dit OKP. In de Leidraad Kunstwerken wordt echter geen aandacht besteed aan de geavanceerde bepaling van het toelaatbaar instroomvolume.

Kunstwerken met droog achterland

Indien achter het kunstwerk 'droog land' ligt, is het gebruikelijk om uit te gaan van een verwaarloosbaar overslagdebiet (0,1 l/m/s). Voorbeelden van kunstwerken met daarachter droog land zijn coupures, keermuren en demontabele keringen langs de Limburgse Maas. Bij bepaalde kunstwerken kan scherper omgegaan worden met het hierboven genoemde overslagcriterium:

- langs de Maaskaden zal binnendijks vaak al water staan vanwege kwel. Extra instroom over een ongeopend kunstwerk is dan eerder toelaatbaar;
- in gebieden waarin het maaiveld geleidelijk oploopt naar hoge grond, zoals bij een aantal Maaskaden, zijn betere mogelijkheden voor evacuatie, waardoor extra instroom over een ongeopend kunstwerk eerder toelaatbaar is.

Voorwaarde is uiteraard dat het kunstwerk zelf voldoende sterk is om de belasting door overstromend water te weerstaan.

Kunstwerken met falende afsluitmiddelen

Bij kunstwerken met water achter het kunstwerk, zoals sluisen en uitlaten, kan het zijn dat het volgens Bijlage B3.4 van de Leidraad Kunstwerken [26] bepaalde instroomvolume bij falende afsluitmiddelen toelaatbaar is. Wel dient dan nagegaan te worden dat de constructie en de aansluiting aan het naastgelegen grondlichaam voldoende sterk is om de belasting door doorstromend water te weerstaan.

Algemene aandachtspunten

- De genoemde aanscherpingen zijn niet alleen toepasbaar in een volledige betrouwbaarheidsanalyse (de geavanceerde toetsing volgens § 4.3.1), maar ook in de eenvoudige en gedetailleerde toetsing op Betrouwbaarheid Sluiting.
- Als bovenstaande aanscherpingen nodig zijn om te voldoen aan de norm, zal de sluitingsprocedure vaak niet van ontwerp kwaliteit zijn. In veel gevallen zal dit dus niet leiden tot een score 'goed' maar tot een score 'voldoende'.
- Bij geavanceerde aanscherping van de faalkansruimte en het toelaatbaar instromend volume moet de toetsing op Betrouwbaarheid sluiting BS in nauwe samenhang met het toetsingspoor Hoogte HT worden uitgevoerd (zie § 4.1.2).

Er zijn meerdere mogelijkheden om de geavanceerde toetsing uit te voeren:

- De kans op bezwijken bij falen van de afsluitmiddelen kan nader worden vastgesteld. In bijlage B3.5 van [26] worden aandachtspunten gegeven voor nadere analyse van het systeem van sluiten. Deze aandachtspunten zijn handreikingen. Bij zeer complexe of specifieke systemen is een specialistische betrouwbaarheidsanalyse noodzakelijk;
- Het waterbezwaar ten gevolge van de geopende constructie wordt nader geanalyseerd. Hierbij kan gekozen worden voor nadere analyse van de constructie ten aanzien van bestand zijn tegen doorstroming of nadere analyse van het waterbezwaar in het achterliggend gebied in geval van bresgroei.

Een score 'onvoldoende' geldt ook als eindscore.

M

4.3.2 Toets op Betrouwbaarheid sluiting BS van harde en demontabele Maaskaden

De toets op Betrouwbaarheid sluiting van kunstwerken volgens § 4.3.1 is volledig toepasbaar voor de waterkerende kunstwerken in de Maaskaden, met uitzondering van de systemen van demontabele keringen die een groot deel vormen van de afsluitbare kunstwerken in het Maaskadengebied. In deze paragraaf wordt eerst de toetsing van die systemen behandeld; vervolgens worden enkele aanvullende aandachtspunten gegeven voor de geavanceerde toetsing.

Integrale systemen van demontabele keringen

De Maaskaden kennen integrale systemen van demontabele keringen, bestaand uit vele kilometers van één type kering, elk met één overkoepelend bedieningsdraaiboek. Analyse van de systemen en hun draaiboeken heeft aangetoond dat gedetailleerde toetsing volgens de regels van Leidraad Kunstwerken [26] niet tot een eindscore 'goed' leidt (stap 4 van Figuur 7 - 4.3). Maar daarbij is ook vastgesteld dat deze systemen te specifiek zijn om te worden getoetst met de algemene gedetailleerde regels volgens de Leidraad Kunstwerken [26]. Dit is in lijn met de opmerking in de Leidraad Kunstwerken (Bijlage B3) dat de gedetailleerde methode voor bepaalde gevallen een te pessimistische inschatting van de veiligheid oplevert.

Voor de integrale systemen van demontabele keringen is daarom direct een geavanceerde toetsing nodig. Aanbevolen wordt om eenmalig een grondige betrouwbaarheidsanalyse uit te voeren, die onder meer leidt tot specificaties voor gebruik en beheer zoals behandeld in de Leidraad Kunstwerken [26].

Zoals aangegeven in stap 1 van Figuur 7 - 4.3 kan de toetsing in de volgende rondes veel eenvoudiger verlopen als er eenmaal specificaties zijn of als een adequate betrouwbaarheidsanalyse beschikbaar is.

Aandachtspunten ten aanzien van de geavanceerde toetsing voor de Maaskaden

De in § 4.3.1 beschreven geavanceerde toetsing op Betrouwbaarheid sluiting BS is volledig toepasbaar voor de Maaskaden. Wel gelden voor de kunstwerken in de Maaskaden enkele aandachtspunten voor de geavanceerde toetsing op Betrouwbaarheid sluiting BS.

In de Maaskaden komen vrij veel kunstwerken voor met daar achter 'droog land'. Bij bepaalde Maaskadengebied kan mogelijk scherper worden omgegaan met het gebruikelijke strenge overslagcriterium:

- langs de Maaskaden zal binnendijks vaak al water staan vanwege kwel. Extra instroom door een ongeopend kunstwerk is dan eerder toelaatbaar;
- in gebieden waarin het maaiveld geleidelijk oploopt naar hoge grond zijn betere mogelijkheden voor evacuatie.

m

Katern 8

Bekledingen

1 Inleiding

1.1.1 Rol van de bekleding in de veiligheid

Onder bekleding wordt verstaan het gehele pakket dat de kern van de dijk bedekt. Afhankelijk van het type kan de bekleding bestaan uit een toplaag, verschillende soorten tussenlagen (bijvoorbeeld van granulair materiaal of geokunststof) en een onderlaag. In Nederland is de onderlaag meestal van klei. De bekleding kan op diverse wijzen functioneren:

- als noodzakelijke bescherming van het onder/achterliggende grondlichaam;
- ter reductie van de golfoploop;
- het leveren van een bijdrage aan de waterdichtheid van de kering;
- ten behoeve van het beperken van onderhoud;
- om de waterkering een esthetisch/natuurlijk uiterlijk te geven.

Vaak is de functie een combinatie van deze vijf.

Bij de toetsing op veiligheid van de bekleding zelf is alleen eerstgenoemde functie van belang; de tweede en derde functie worden niet direct getoetst, maar wel gebruikt als invoerparameters in andere beoordelingssporen:

- de invloed van de bekleding op de golfoploop wordt niet in dit katern behandeld, maar maakt onderdeel uit van de toetsing op Hoogte van dijken en dammen (zie Katern 5). Daarnaast is er een tweede verband met de toetsing op kruinhoogte: vanaf een bepaalde waarde van het overslagdebiet moet worden getoetst of de bekleding van kruin en binnentalud voldoende erosiebestendig is. In Katern 5 wordt voor die toetsing verwezen naar dit katern;
- de bijdrage van de bekleding aan de waterdichtheid van de totale kering wordt niet getoetst: het lekdebiet dat via de bekleding door de dijk heen stroomt is nooit zo groot dat het een voor de veiligheid bezwaarlijk waterbezwaar in de polder kan veroorzaken. Overigens kan de doorlatendheid van de bekleding zelf wel een parameter zijn in de toetsing: de doorlatendheid kan van belang zijn voor de stabiliteit van de bekleding zelf, de ligging van de freatische lijn in het grondlichaam en/of de stabiliteit van het binnentalud bij overslaand of uittredend water.

Dit Voorschrift is bedoeld voor het toetsen van de veiligheid van de gehele kering (zie Katern 1); bezwijken van de bekleding betekent niet noodzakelijk dat de veiligheid van de gehele kering in gevaar is. Om een score 'voldoet aan de norm' (score 'voldoende' of 'goed' volgens de toetsingsregels) te halen moet de bekleding er minimaal voor zorgen dat de aantasting van het dwarsprofiel tijdens maatgevende omstandigheden zodanig binnen de perken blijft, dat er geen gevaar voor bresvorming optreedt. Een bekleding kan een score 'goed' krijgen als de bekleding zelf ook in maatgevende omstandigheden niet bezwijkt.

1.2 Bekledingstypes

Tabel 8 - 1.1 bevat een volledig overzicht van alle voorkomende bekledingstypes. Het overzicht is ontleend aan Leidraad Zee- en Meerdijken [13].

Tabel 8-1.1
Indeling bekledingstypes

Cluster/Bekledingstype [13]	Nummer [13]	Hoofdstuk in dit katern
Gras		
• Gezaaid gras	20	4
• Graszoden en graszaad/zoden in kunststofmatten	21	4
Losgestorte materialen		
• Bestorting van grof grind en andere granulaire materialen	22	-
• Breuksteen (stortsteen)	25	-
Verpakte bekledingen		
• Grove granulaire materialen c.q. breuksteen verpakt in metaalgaas	23	-
• Fijne granulaire materialen c.q. zand/grind verpakt in geotextiel	24	-
Gezette bekledingen en blokkenmatten		
• Betonblokken met afgeschuinde hoeken of gaten erin	10	2
• Betonblokken zonder openingen	11	2
• Open blokkenmatten	12	2*
• Blokkenmatten zonder openingen	13	2*
• Betonnen doorgroeistenen	17	2*
• Breuksteen, gepenetreerd met cementbeton of colloïdaal beton (patroonpenetratie)	19	-
• Gezette basalt	26	2
• Gezette betonzuilen	27	2
• Gezette natuursteen	28	2
Betonbekledingen		
• Betonplaten in situ gestort	14	-
• Colloïdaal beton (open structuur)	15	-
• Betonplaten prefab	16	-
• Breuksteen, gepenetreerd met cementbeton of colloïdaal beton (vol en zat)	18	-
Asfaltbekledingen		
• Waterbouwasfaltbeton	1	3
• Asfaltmastiek	2	3*
• Dicht steenasfalt	3	3*
• Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening	4	3
• Open steenasfalt	5	3
• Zandasfalt (toplaag of onderlaag)	6	3
• Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (vol en zat)	7	3
• Gezette baksteen/betonsteen/basalt, gepenetreerd met asfalt (vol en zat)	8	2*
• Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (patroonpenetratie)	9	3*

* minder vaak voorkomende bekledingstypes waarvoor de toetsregels niet expliciet worden behandeld in dit katern; in het betreffende hoofdstuk wordt verwezen naar andere publicaties.

Van de zes clusters komen grasbekledingen, gezette bekledingen en asfaltbekledingen het meest voor op primaire waterkeringen. De toetsregels voor deze drie hoofdgroepen worden daarom behandeld in dit katern: in hoofdstuk 2 de steenzettingen, in hoofdstuk 3 de asfaltbekledingen en in hoofdstuk 4 de grasbekledingen.

De andere drie hoofdgroepen komen sporadisch voor en dan bovendien meestal in minder zwaar belaste zones. Desondanks kan het nodig zijn om ook deze bekledingen te toetsen. Een eerste ingang voor de betreffende rekenregels wordt gevormd door de Leidraad Zee- en Meerdijken [13]; voor verdere toetsing wordt daarin verwezen naar meer specialistische literatuur.

De toetsing van overgangs-, teen- en aansluitingsconstructies wordt behandeld per bekledingstype in aparte paragrafen.

2 Steenzettingen

2.1 Inleiding

2.1.1 Definitie en afbakening

In dit hoofdstuk worden de toetsregels voor steenzettingen gegeven; in lijn met Tabel 8 - 1.1 worden deze bekledingstypes ook wel aangeduid als gezette bekledingen. Zoals aangeduid in de tabel worden niet alle bekledingstypes expliciet behandeld. De regels in dit hoofdstuk zijn alleen geldig voor steenzettingen met een toplaag van standaard elementen: niet-onderling verbonden, in verband gezette, massieve zuilen of blokken (type 10, 11, 26, 27 en 28).

De volgende aanverwante bekledingstypes worden niet behandeld in dit Voorschrift omdat ze minder vaak voorkomen; voor de toetsregels wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27]:

- geschakelde steenzettingen (type 12 en 13);
- doorgroeistenen (type 17);
- gepenetreerde steenzettingen (type 8);
- breuksteenoverlaging (een bijzonder geval van type 25);
- steenzettingen met afstandhouders (een bijzonder geval van type 11).

Verderop in dit hoofdstuk is sprake van een indeling van steenzettingen in drie types; benadrukt wordt dat het daar gaat om een andere indeling, zonder relatie met de hiergenoemde type-indeling.

Steenzettingen op laaggelegen kruinen en de bijbehorende binnentaluds (bijvoorbeeld op havendammen) worden niet in dit katern behandeld, maar bij de toetsing van havendammen in hoofdstuk 5 van Katern 5.

Teen-, overgangs- en aansluitingsconstructies van steenzettingen worden apart behandeld in § 2.5 van dit katern. Daaronder valt ook de invloed van overgangsconstructies op de stabiliteit van de bekleding zelf.

De tekst in dit hoofdstuk is alleen bedoeld voor toetsing 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.

2.1.2 Faalmechanismen en beoordelingsporen

Voor steenzettingen worden vier hoofd-faalmechanismen onderscheiden:

1. stabiliteitsverlies van individuele toplaagelementen (toplaaginstabiliteit);
2. afschuiving van de bekleding en/of de ondergrond;
3. materiaaltransport vanuit ondergrond, onderlagen of granulaire lagen;
4. erosie van de onderlagen.

De eerste drie hoofdmechanismen leiden tot bezwijken van de toplaag maar nog niet direct tot gevaar voor de veiligheid: daarvoor moet ook erosie van de onderlagen en het dijklichaam plaatsvinden.

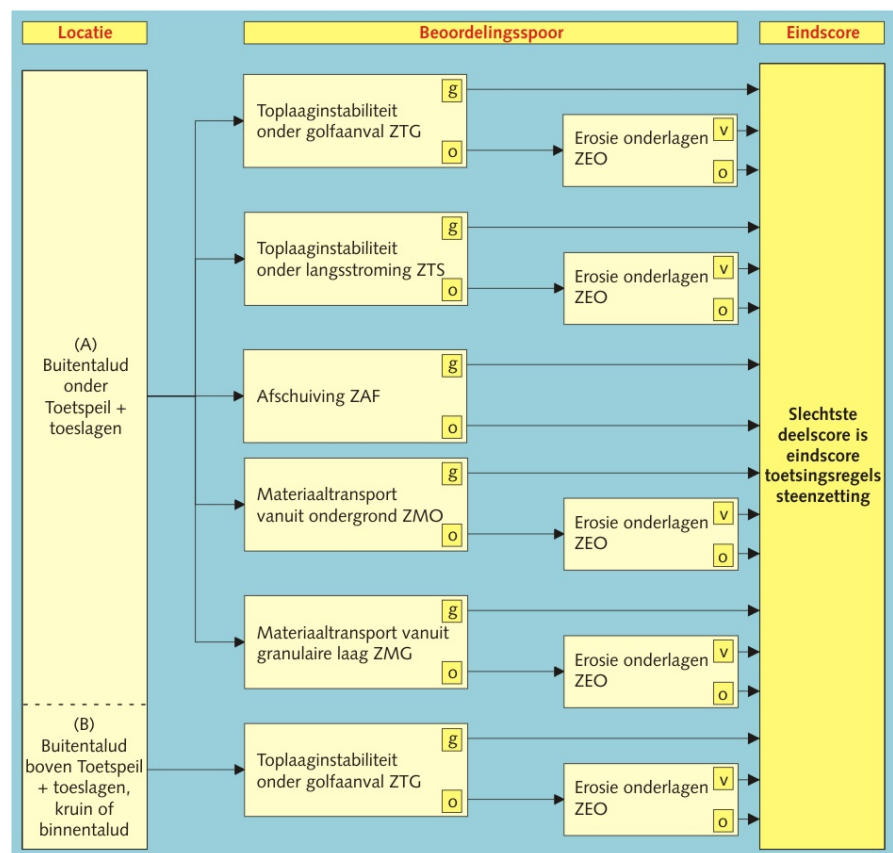
Voor het faalmechanisme topplaaginstabiliteit wordt apart getoetst op golfaanval en langsstroming en voor het faalmechanisme materiaaltransport wordt apart gekeken naar de onderlaag en naar de granulaire laag. De vier faalmechanismen worden daarom vertaald naar zes beoordelingssporen:

- topplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG;
- topplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS;
- afschuiving ZAF;
- materiaaltransport vanuit de onderlaag ZMO;
- materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG;
- erosie van de onderlagen ZEO.

De letter Z in de afkortingen staat voor zetsteen.

Het hoofdschema voor de toetsing van steenzettingen staat in Figuur 8 - 2.1. De te doorlopen beoordelingssporen hangen af van de ligging van de te toetsen bekleding ten opzichte van het Toetspeil + toeslagen.

Figuur 8 - 2.1
Hoofdschema voor de toetsing van steenzettingen



Voor een steenzetting in zone B (buitentalud boven Toetspeil + toeslagen, kruin of binnentalud) is alleen Topplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG van belang. Benadrukt wordt dat toetsing op de vier andere sporen niet nodig is voor deze zone. Bij een score 'onvoldoende' op Topplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG kan ook voor deze zone worden getoetst op Erosie van de onderlagen ZEO.

Voor overgangsconstructies bij steenzettingen gelden de sporen Invloed overgang op topplaaginstabiliteit ZOI en Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie ZOB. Deze beoordelingssporen staan niet in het hoofdschema omdat de toetsing van overgangsconstructies apart wordt behandeld in § 2.5 van dit katern.

Opgemerkt wordt dat de beoordeling van alle genoemde sporen kan worden uitgevoerd met het rekenmodel STEENTOETS.

2.2 Belastingen

2.2.1 Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG

De belasting voor dit spoor bestaat uit de opwaartse druk op de topplagelementen. Deze belasting wordt bepaald door de golfaanval en door enkele constructieve eigenschappen.

Maatgevende golfparameters voor elk niveau op het talud worden bepaald met behulp van de HYDRA-rekenmodellen, onderdeel van HR2006 [45]. De golfaanval wordt voor bekledingen uitgedrukt in de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p . In het geval de HYDRA-rekenmodellen niet voorzien in golfrandvoorwaarden over het hele talud, kunnen de golfparameters bij Toetspeil uit HR2006 [45] worden gebruikt. Deze waarden zijn conservatief voor lager gelegen taluddelen.

Ten aanzien van de constructieve eigenschappen is het volgende van belang: de belasting is groter als het water gemakkelijk door de granulaire laag kan stromen, maar juist minder gemakkelijk door de top laag heen kan ontsnappen. Ten aanzien van de top laag zijn hiervoor het open-ruimtepercentage en de top laagdikte van belang. Ten aanzien van de granulaire laag eronder spelen de laagdikte, de porositeit en de sortering van het materiaal een rol.

De aanwezigheid van overgangsconstructies kan de doorlatendheidseigenschappen veranderen en daardoor de belasting beïnvloeden; hiermee wordt in de toetsing rekening gehouden.

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.

2.2.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS

Voor dit beoordelingsspoor zijn stroomsnelheid en turbulentie van belang. In de eenvoudige toetsing wordt de belasting weergegeven door de diepte-gemiddelde stroomsnelheid u aan de teen van de dijk. Deze parameter wordt voor het bovenrivierengebied gegeven in HYDRA-R.

Zoals genoemd onder § 2.2.1 van dit katern hoeft niet te worden getoetst op de combinatie van golfaanval en stroming.

2.2.3 Afschuiving ZAF

Voor afschuiving is de golfhoogte H_s van belang en daarnaast de golfsteilheid. Deze kan worden afgeleid uit de golfperiode T_p . Verwezen wordt naar § 2.2.1 van dit katern.

2.2.4 Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO

De opwaartse kracht op de deeltjes wordt bepaald door het verhang. Dit volgt onder meer uit de golfhoogte H_s . Verwezen wordt naar § 2.2.1 van dit katern.

2.2.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG

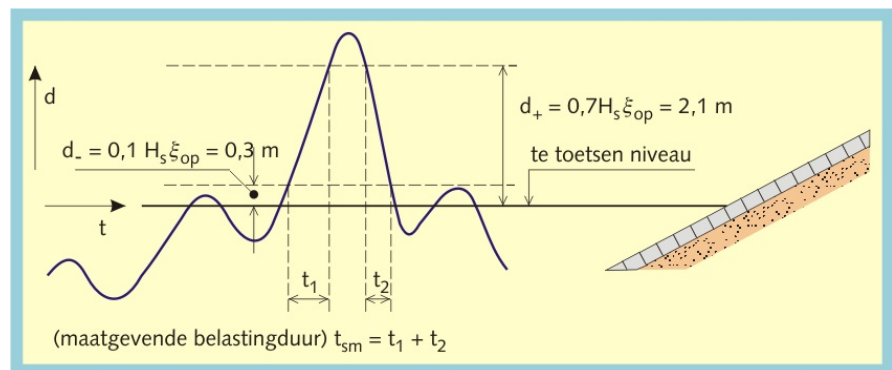
De opwaartse kracht op de deeltjes wordt ook voor dit spoor bepaald door het verhang. Dit volgt onder meer uit de golfhoogte H_s . Hiervoor wordt verwezen naar § 2.2.1 van dit katern.

2.2.6 Erosie van de onderlagen ZEO

Voor dit mechanisme is het tijdsverloop van waterstand en golfparameters tijdens een maatgevende storm van belang. Het maatgevende stormverloop voor elk watersysteem is opgenomen in HR2006 [45]. Op basis daarvan kan voor elk niveau op het buitentalud de belastingduur worden berekend. Deze belastingduur t_{sm} wordt gebruikt in de toetsingsregels. Daarnaast zijn ook voor dit spoor de golfhoogte H_s en de golfperiode T_p van belang.

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 waterstand 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 8 - 2.2.

Figuur 8 - 2.2
Voorbeeld bepalen maatgevende belastingduur t_{sm}



Voor de bepaling van t_{sm} is in de eerste plaats het waterstandsverloop tijdens maatgevende condities van belang (zie [45]). De ligging van d en d_+ ten opzichte van het te toetsen punt worden bepaald door de golfhoogte H_s en brekerparameter ξ_{op} , die horen bij de waterstanden. Verder wordt bij de berekening van d en d_+ onderscheid gemaakt tussen loodrechte en scheve golfinval. De rekenregels zijn als volgt:

bij loodrechte golfinval (invalshoek β kleiner dan 20°) geldt:

- $d_- = 0,1 \cdot H_s \cdot \xi_{op}$
- $d_+ = 0,7 \cdot H_s \cdot \xi_{op}$

bij scheve golfinval (invalshoek β groter dan 20°) is de band van waterdieptes smaller. Er geldt:

- $d_- = 0,3 \cdot H_s \cdot \xi_{op}$
- $d_+ = 0,5 \cdot H_s \cdot \xi_{op}$

De resulterende belastingduur t_{sm} geldt voor één bepaald niveau op het talud. Het is niet goed mogelijk om op voorhand vast te stellen welk niveau het ongunstigst is: hoog op het talud kan de belastingduur t_{sm} kleiner zijn maar is de golfbelasting groter. Verder kan de sterkte vanzelfsprekend variëren (zie § 2.3.6 van dit katern).

2.3 Sterkte

2.3.1 *Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG*

De sterkte ten aanzien van toplaaginstabiliteit wordt bepaald door de toplaagdikte en de dichtheid van de toplaagelementen, de wrijving/klemming tussen de elementen en de taludhelling.

2.3.2 *Toplaaginstabiliteit onder langstroming ZTS*

De belangrijkste sterkteparameters zijn de toplaagdikte en de dichtheid van de toplaagelementen.

2.3.3 *Afschuiving ZAF*

De weerstand tegen afschuiving wordt bepaald door laagdikte D en relatieve dichtheid Δ van de toplaag, de dikte van de granulaire laag/filter b_p , de dikte van de cohesieve laag b_k en door de grofheid van het zand daaronder, weergegeven door de diameter van de fijne fractie D_{15} .

2.3.4 *Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO*

De weerstand tegen materiaaltransport wordt bepaald door de verhouding tussen de korrelgrootte van de ondergrond en de grootte van de openingen in de laag daarboven. Bij een granulair filter zijn de afmetingen van de fijne fractie representatief voor de grootte van de openingen.

2.3.5 *Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG*

De weerstand tegen materiaaltransport wordt bepaald door de verhouding tussen enerzijds de korrelgrootte van de granulaire laag en anderzijds de openingsgrootte tussen de toplaagelementen en de toplaagdikte.

2.3.6 *Erosie van de onderlagen ZEO*

Weerstand tegen erosie wordt geleverd door granulaire bekledingslagen en door de klei in het dijklichaam (de kleilaag die op een zandkern ligt of de kleikern). De weerstand van zand wordt in de rekenmethode verwaarloosd. Voor granulaire bekledingslagen is de laagdikte van belang. Voor de kleilaag wordt de reststerkte bepaald door de laagdikte en door de erosiebestendigheid van de klei.

2.4 Beoordeling

2.4.1 *Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG*

Zone-indeling

Toetsing op toplaaginstabiliteit is van belang voor zone A en B (onder en boven Toetspeil + toeslagen). De regels voor beide zones worden in deze paragraaf behandeld. In beide zones kan de aanwezigheid van een buitenberm de toplaagstabiliteit beïnvloeden. Er zijn aparte toetsregels voor steenzettingen op bermen en op taluds die worden beïnvloed door bermen. Deze regels worden niet behandeld in dit voorschrift: verwezen wordt naar het Technisch Rapport Steenzettingen [27] en het rekenmodel STEENTOETS.

In Figuur 8 - 2.3 is aangegeven voor welke zones de berminvloed van belang is. De volgende zones worden onderscheiden:

- **A1:** buitentalud onder Toetspeil + toeslagen zonder berminvloed;
- **B1:** buitentalud boven Toetspeil + toeslagen zonder berminvloed;
- **Berm;**
- **A2:** buitentalud onder Toetspeil + toeslagen met berminvloed;
- **B2:** buitentalud boven Toetspeil + toeslagen met invloed van lage berm;

- B3: buitentalud boven Toetspeil + toeslagen met invloed van hoge berm;
- B4: kruin en binnentalud.

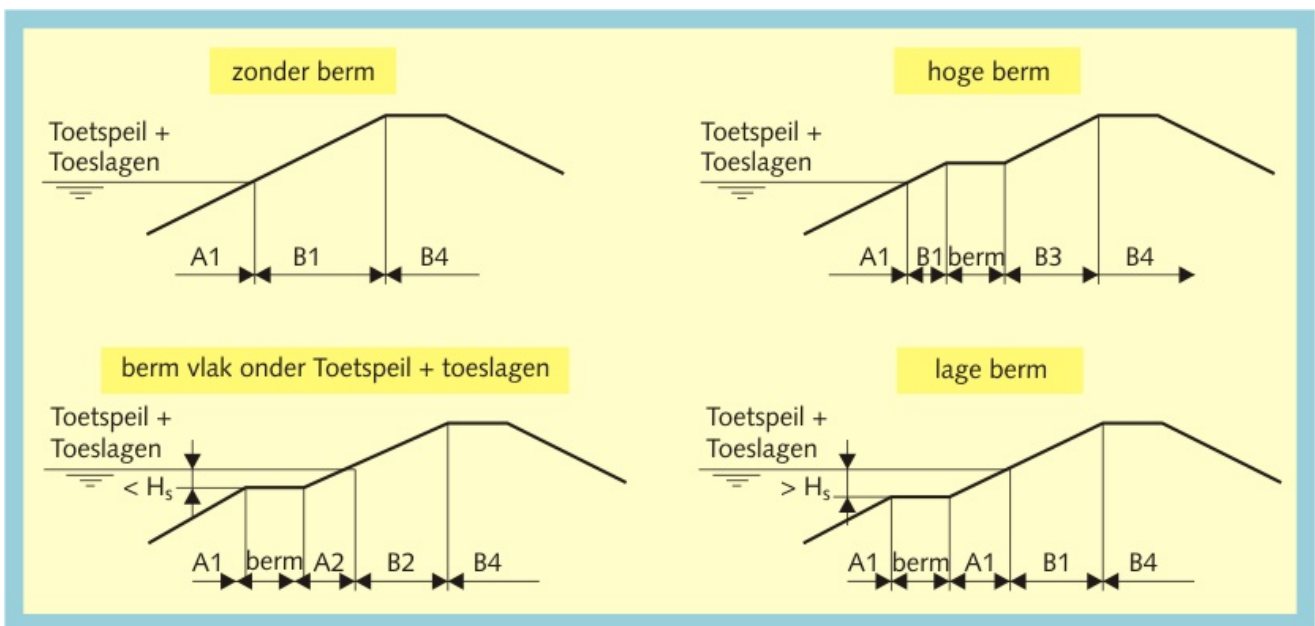
De ligging van deze taludzones is afhankelijk van de aanwezigheid van een berm en het niveau van de berm ten opzichte van het Toetspeil. Er zijn vier mogelijke situaties:

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

H_s is in dit geval de significante golfhoogte die hoort bij Toetspeil + toeslagen. De definitie van bermen wordt behandeld in Kader 8 - 2.1. Voor de vier mogelijke situaties zijn de verschillende zones weergegeven in Figuur 8 - 2.3.

Figuur 8 - 2.3

Zone-indeling voor toetsing op toplaaginstabiliteit



Kader 8 - 2.1

Definitie van een berm

Niet elke strook in het buitentalud met een erg flauwe helling 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. Een strook die flauwer is dan 1:9 over een breedte van minimaal twee maal de maatgevende waarde van H_s wordt in alle gevallen behandeld als een berm. Daarnaast worden smallere stroken (met een breedte tussen H_s en $2 \cdot H_s$) onder de volgende voorwaarden ook als berm behandeld:

- het talud is flauwer dan 1:9 (ook in dit geval);
- de strook ligt lager dan Toetspeil + toeslagen;
- er komen waterstands-golfcombinaties voor waarbij de waarde d_n / H_s ligt tussen 0,5 en 2,2 (d_n is gedefinieerd als de waterdiepte boven de buitenknik van de berm).

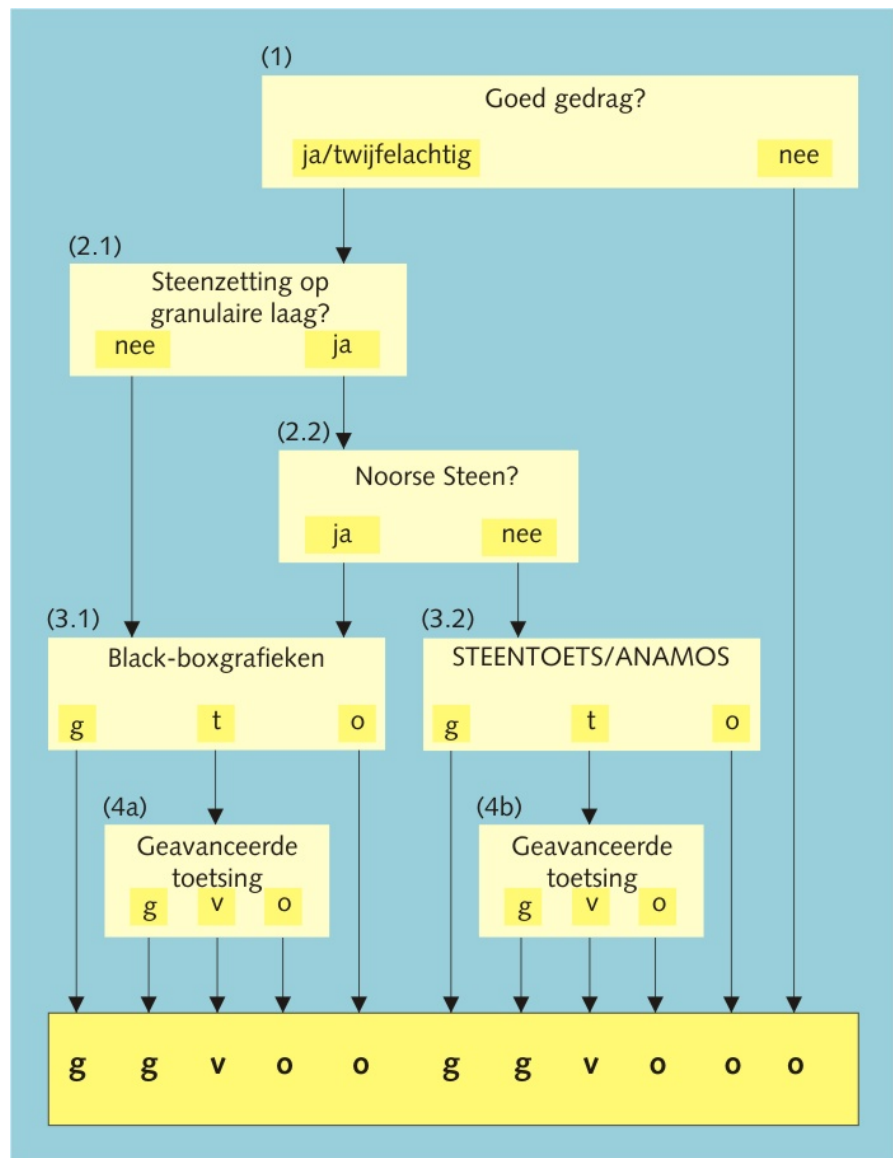
In dit hoofdstuk worden alleen de toetsingsregels behandeld voor de zones A1, B1 en B4. In de overige zones (berm, A2, B2 en B3) is de berminvloed wél van belang; daarvoor wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27] en het rekenmodel STEENTOETS.

Zone A1: Buitentalud onder Toetspeil + toeslagen zonder berminvloed

De tekst in deze paragraaf is geldig voor het gehele buitentalud onder Toetspeil + toeslagen, met uitzondering van bermen of taludzones die worden beïnvloed door een berm (zie Figuur 8 - 2.3).

De eerste stap is controle van het gedrag. Het vervolg is afhankelijk van het type steenzetting (stap 2). Voor steenzettingen zonder granulaire laag en voor Noorse steen worden blackbox-grafieken gebruikt (stap 3.1) met als resultaat een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'. Voor steenzettingen met een granulaire laag kan de analytische methode van het rekenmodel STEENTOETS worden toegepast (stap 3.2), met als resultaat een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' kan in stap 3.1 of stap 3.2 een eindscore worden bepaald met geavanceerde toetsing (stap 4a en 4b). Dit is weergegeven in Figuur 8 - 2.4. Steenzettingen zonder granulaire laag kunnen ook met het rekenmodel STEENTOETS worden beoordeeld volgens de Black-boxgrafieken.

.....
Figuur 8 - 2.4
Beoordelingsschema Toplaaginstabiliteit onder
golfaanval ZTG (buitentalud)



Overgangsconstructies of aansluitingsconstructies die de granulaire laag afsluiten kunnen de kans op topplaaгинstabiliteit 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 § 2.5.2. Bij het spoor Toplaaгинstabiliteit onder golfbelasting wordt de steenzetting dus getoetst zonder de invloed van overgangsconstructies.

Stap 1: Gedrag Toplaaгинstabiliteit onder golfaanval (buitentalud)

Op basis van het gedrag van de steenzetting kan een score 'onvoldoende' worden gegeven op topplaaгинstabiliteit. Verwezen wordt naar Kader 8 - 2.2.

Kader 8 - 2.2

Toetsing op gedrag ten aanzien van toplaaginstabiliteit

De tekst in dit kader is geldig voor steenzettingen op elke zone van de dijk (buitentalud, kruin en binnentalud). 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 of verzakkingen, zijn in ieder geval een indicatie voor een gebrek van de constructie en kunnen wijzen op toplaaginstabiliteit, maar ook op de andere faalmechanismen. Dit wordt behandeld bij de toetsing op Materiaaltransport vanuit de ondergrond (zie § 2.4.4).

Het is voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit nadrukkelijk 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. Bij twijfel over het gedrag wordt niet direct een score 'onvoldoende' gegeven maar wordt de toetsing voortgezet.

Stap 2: Te volgen beoordelingsmethode

Bij een score 'ja / twijfelachtig' in stap 1 hangt het vervolg van de toetsing af van het type steenzetting. Voor steenzettingen op een granulaire laag behalve Noorse steen moet de toetsing worden voortgezet met de gedetailleerde methode (stap 3.2). De overige steenzettingen (zonder granulaire laag en Noorse steen) worden beoordeeld volgens black-boxgrafieken (stap 3.1).

Stap 2.1: Steenzetting op granulaire laag?

Betreft het een steenzetting zonder granulaire laag dan verloopt de beoordeling aan de hand van black-boxgrafieken (stap 3.1). Betreft het een steenzetting op een granulaire laag dan is stap 2.2 de volgende beoordelingsstap.

Stap 2.2: Noorse steen?

Betreft de steenzetting Noorse steen dan wordt deze beoordeeld aan de hand van black-boxgrafieken (stap 3.1). Andere steenzettingen op een granulaire laag worden beoordeeld met behulp van het rekenmodel STEENTOETS of ANAMOS (stap 3.2).

Stap 3.1: Black-boxgrafieken (gedetailleerd)

Deze stap is van toepassing op steenzettingen zonder granulaire laag en voor Noorse steen.

De toetsingsregels zijn afhankelijk van het type constructie. Er wordt een hoofdingeling aangehouden in de types 1, 2 en 3. Let op: deze type-indeling heeft geen relatie met de algemene indeling van bekledingstypes volgens de Leidraad Zee- en Meerdijken [13], zoals behandeld in hoofdstuk 1 van dit katern.

De hoofdingeling van steenzettingen is als volgt:

1. steenzetting op geokunststof op zand of klei (zie Figuur 8 - 2.5);
2. steenzetting op 'goede erosiebestendige' klei (c1) (zie Figuur 8 - 2.6). Voor de definitie van 'goed erosiebestendig' wordt verwezen naar § 4.3.1 van dit katern. Een steenzetting op 'matig erosiebestendige' of 'weinig erosiebestendige' klei (c2 en c3) kan ten aanzien van toplaaginstabiliteit in principe op dezelfde manier worden getoetst, maar dat is niet zinnig omdat zo'n bekleding direct 'onvoldoende' scoort op het beoordelingsspoor Materiaaltransport vanuit de ondergrond (zie § 2.4.4 van dit katern);

3. steenzetting op een granulaire laag worden beoordeeld in stap 3.2.

De rekenmethode in deze stap wordt gekenmerkt door empirische relaties tussen de sterkteparameter $H_s/\Delta D$ en de belastingparameter ξ_{0p} . De brekerparameter ξ_{0p} kan als volgt worden bepaald:

$$\xi_{0p} = \tan\alpha / \sqrt{(H_s / L_{0p})}$$

waarin:

ξ_{0p}	=	brekerparameter	[-]
α	=	gemiddelde taludhelling	[-]
L_{0p}	=	golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode	[m]
		$L_{0p} = g \cdot T_p^2 / 2\pi$	

De bepaling van de steendikte D en relatieve dichtheid staat voor type 1 en 2 beschreven in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

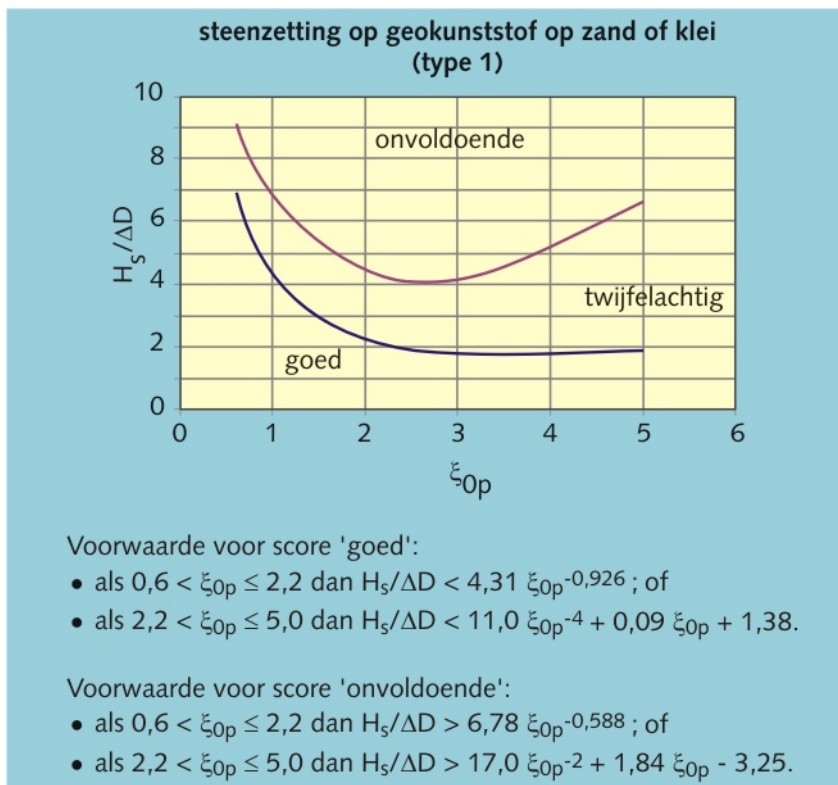
De nominale diameter D_{n50} van Noorse steen wordt afgeleid van veldmetingen. Uit het berekend steenvolume wordt de D_{n50} afgeleid middels een volume-overschrijdingskromme. Het volume van een steen wordt als volgt bepaald:

$V = 0,5 \times \text{lengte} \times \text{breedte} \times \text{hoogte}$. Op basis van minimaal tien stenen worden het gemiddelde volume V_{50} en de D_{n50} bepaald: $D_{n50} = (V_{50})^{1/3}$. Het soortelijk gewicht van Noorse steen bedraagt 2.650 kg/m^3 , tenzij een afwijkende waarde is gemeten.

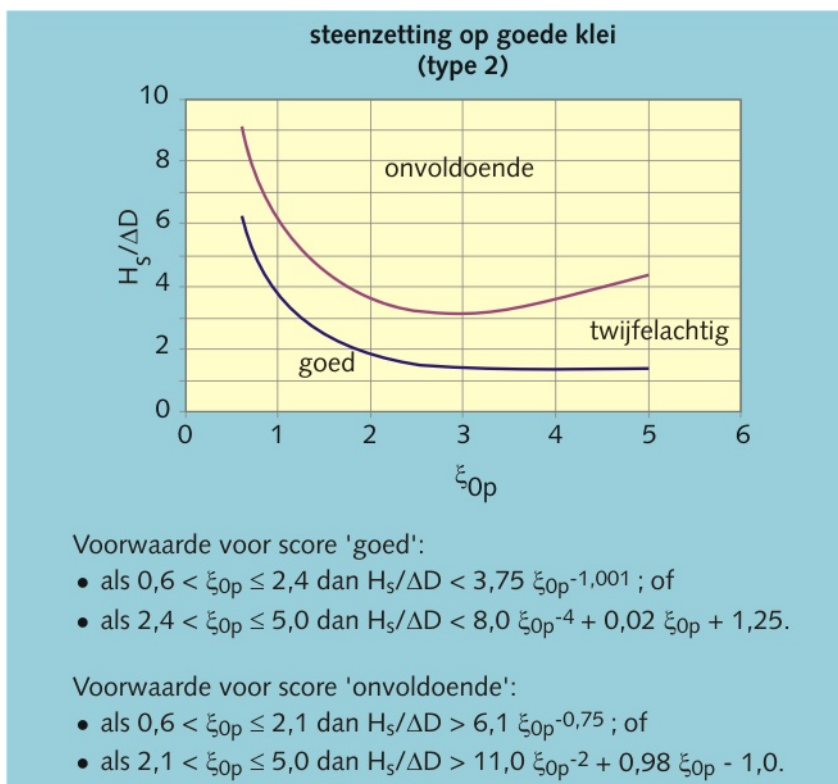
Aan de hand van modelproeven is vastgesteld bij welke verhouding tussen de sterkte- en belastingparameters de constructie zeker 'goed' en zeker 'onvoldoende' is. Deze grenslijnen zijn vastgelegd in de zogenaamde black-boxgrafieken. Deze methode kan worden aangeduid als eenvoudige toetsing. In Figuur 8 - 2.5 tot en met Figuur 8 - 2.7 staan de toetsregels voor type 1, type 2 en Noorse steen, zowel in formulevorm als in grafische vorm. Indien de score op grond van de black-boxgrafieken niet 'goed' of 'onvoldoende' is, dan wordt de toetsing voortgezet met geavanceerde toetsing (stap 4a). Overigens kunnen deze steenzettingen ook met het rekenmodel STEENTOETS beoordeeld worden conform de onderstaande grafieken.

Er bestaan ook black-boxgrafieken voor steenzettingen met onderlinge verbindingen; zoals aangegeven in § 2.1.1 van dit katern wordt de toetsing daarvan behandeld in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

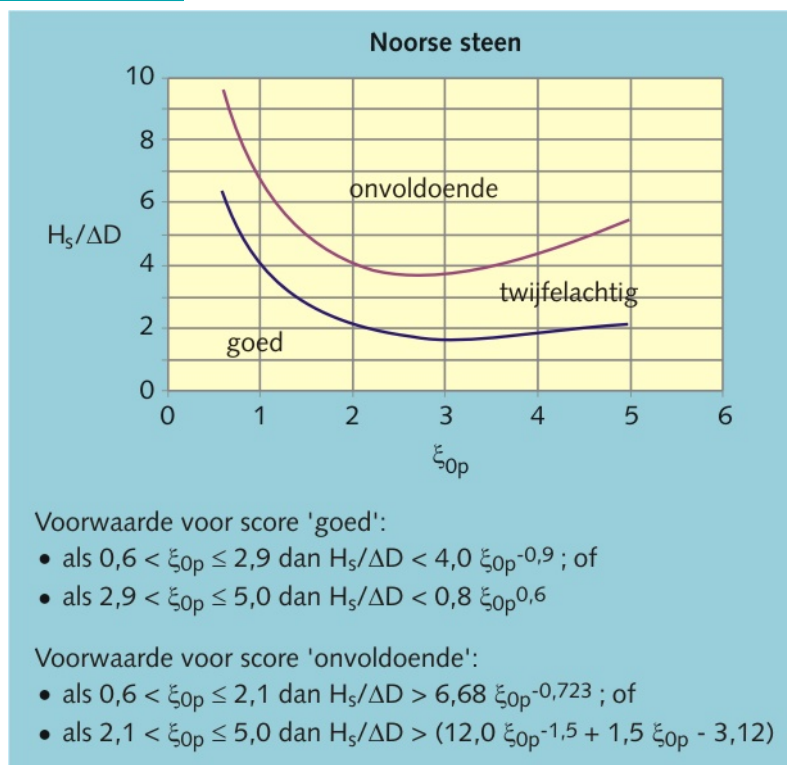
Figuur 8 - 2.5
Eenvoudige toetsing steenzetting type 1



Figuur 8 - 2.6
Eenvoudige toetsing steenzetting type 2



Figuur 8 - 2.7
Type Noorse steen



Stap 3.2: Steenzettingen op een granulaire laag (gedetailleerd)

Voor steenzettingen van type 3 (dus op een granulaire laag, met uitzondering van Noorse steen) kan de toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval worden uitgevoerd met de analytische methode. Het belangrijkste verschil met de toetsing aan de hand van black-box-grafieken 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 (zie § 2.5.2 van dit katern). De analytische methode is verwerkt in het rekenmodel STEENTOETS en ANAMOS. Met het rekenmodel STEENTOETS wordt een score toegekend. Een score 'goed' of 'onvoldoende' volgens het rekenmodel STEENTOETS is tevens de eindscore. Anders wordt de toetsing voortgezet met geavanceerde toetsing (stap 4b).

Stap 4: Geavanceerde toetsing Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (buitentalud)

Indien in stap 3.1 (voor steenzettingen zonder granulaire laag) of in stap 3.2 (voor steenzettingen met granulaire laag) geen score 'goed' of 'onvoldoende' volgens het rekenmodel STEENTOETS toegekend kan worden, dan wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing. Aandachtspunten hiervoor worden gegeven in Technisch Rapport Steenzettingen [27]. Bij gebruik hiervan moet kennis die na uitkomen van het Technisch Rapport is opgedaan worden meegenomen in de beoordeling. Neem hiervoor contact op met de helpdesk Water (zie § 6 van het Centrale Gedeelte).

Zone B1: Buitentalud boven Toetspeil + toeslagen zonder berminvloed

Voor de definitie van deze zone wordt verwezen naar Figuur 8 - 2.3. De golfbelasting in deze zone is in alle gevallen veel kleiner dan onder Toetspeil + toeslagen. Voor de toetsingsregels wordt verwezen naar zone A1. Er zijn twee verschillen. Ten eerste kan bij het doorlopen van stap 3.1 en stap 3.2 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 + toeslagen, en voor de overige

parameters wordt gerekend met de werkelijk in zone B1 aanwezige waarden. Het tweede verschil is, dat na stap 3.1 en stap 3.2 voor deze zone geen eindscore 'onvoldoende' mogelijk is, omdat de regel conservatief is. Als de score in stap 3.1 en 3.2 niet 'goed' is, wordt de toetsing voortgezet met geavanceerde toetsing in stap 4.

Steenzettingen in deze zone waarvan de toplaag direct op klei staat, moeten nauwkeurig worden geïnspecteerd 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' toegekend worden.

Vanaf het niveau Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2}z_{2\%}$ is de belasting overigens zodanig beperkt, dat eventueel aanwezige steenzettingen per definitie een score 'goed' krijgen.

Zone B4: Kruin en binnentalud

Deze zone kan van belang zijn voor de toetsing van de kruinhoogte (zie Katern 5). Steenzettingen op kruin of binnentalud komen zelden voor op dijken en dammen. Ze komen vaker voor op voorliggende (haven-)dammen die onderdeel uit kunnen maken van de primaire waterkering. De toetsing van steenzettingen op voorliggende (haven-)dammen wordt apart behandeld in hoofdstuk 5 van Katern 5. Deze methode is ook toepasbaar voor steenzettingen op kruin en binnentalud van dijken en dammen.

2.4.2 Toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS

Toetsing op toplaaginstabiliteit onder langsstroming is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil + toeslagen. Met name locaties langs de rivieren in de buurt van schaar dijken, kapen of strangen die uitmonden in kapen zijn gevoelig voor langsstroming. De toetsregels gelden ook voor steenzettingen op bermen en bovenbelopen onder Toetspeil + toeslagen.

De eerste stap is ook hier het gedrag. Stap 1.2 maakt onderscheid naar watersysteem omdat stroming buiten het rivierengebied nauwelijks relevant is. Vervolgens wordt een eenvoudige rekenregel (stap 1.3) toegepast voor dijken buiten het rivierengebied, daaruit kan een eindscore 'goed' volgen. Anders is beoordeling volgens de rekenregel in stap 2 nodig. 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 8 - 2.8. Overigens is deze toetsing in de praktijk bijna nooit maatgevend boven de toetsing op golfbelasting.

Stap 1: Noodzaak om eenvoudige toetsing uit te voeren

In deze stap wordt nagegaan of een eenvoudige toetsing uitgevoerd dient te worden of dat een eindscore toegekend kan worden op grond van getoond gedrag en enkele kenmerken.

Stap 1.1: Gedrag Toplaaginstabiliteit onder langsstroming

Op basis van het gedrag van de steenzetting kan een score 'onvoldoende' worden gegeven op toplaaginstabiliteit; de regels zijn bij dit spoor overigens exact hetzelfde als voor het spoor Toplaaginstabiliteit onder golfaanval. Verwezen wordt naar Kader 8 - 2.2.

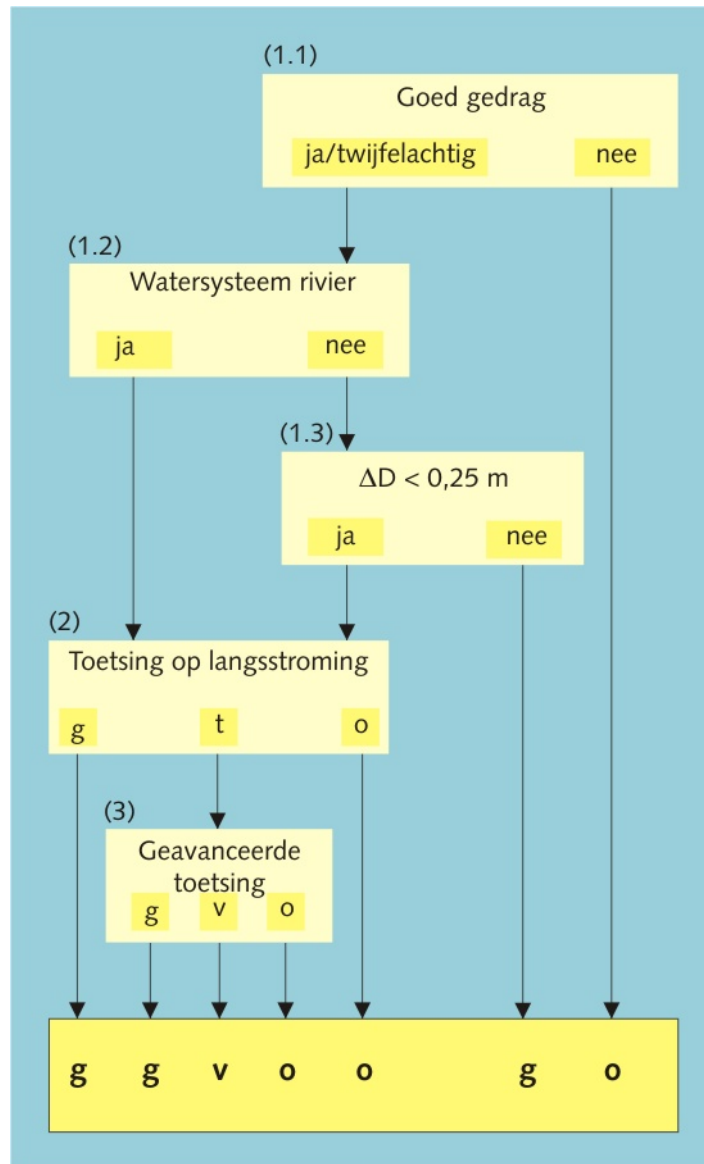
Stap 1.2: Watersysteem rivier

In deze stap wordt onderscheid gemaakt naar het watersysteem. Langsstroming is een mechanisme dat vooral relevant is langs rivieren en daar soms maatgevender is dan toplaaginstabiliteit door golfaanval. In andere watersystemen is langsstroming zelden maatgevend. In het geval dat de bekleding aan een rivier ligt, is stap 2 de vervolgstap. Voor dijken aan meren of de zee is stap 1.3 de vervolgstap.

Stap 1.3: $\Delta D < 0,25$ m

Indien het relatieve gewicht per oppervlakte-eenheid van de toplaag ΔD kleiner dan 0,25 m is, wordt de toetsing vervolgd met stap 2. Anders is de eindscore 'goed'.

Figuur 8 - 2.8
Beoordelingsschema Toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS



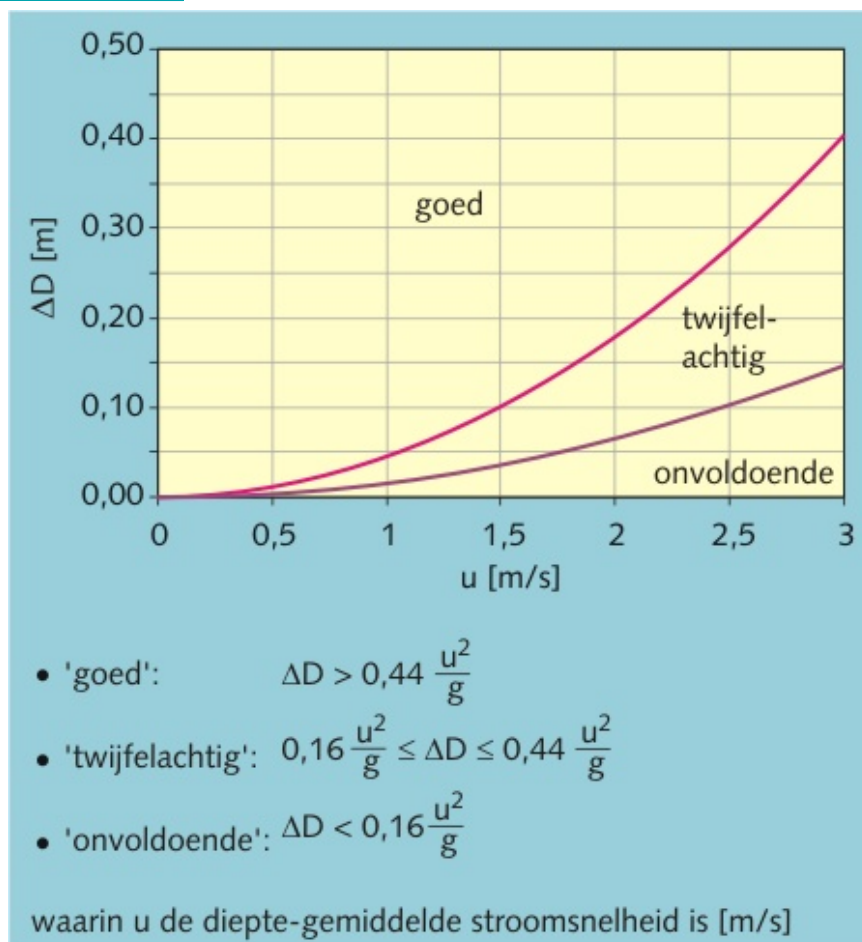
Stap 2: Eenvoudige toetsing Toplaaginstabiliteit onder langsstroming

Voor belasting op langsstroming bestaat een eenvoudige toetsregel die leidt tot een score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' (zie Figuur 8 - 2.9).

Stap 3: Geavanceerde toetsing Toplaaginstabiliteit onder langsstroming

Bij een score 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor de toetsing op langsstroming. Aandachtspunten hiervoor worden gegeven in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

Figuur 8 - 2.9
Eenvoudige toetsing toplaaginstabiliteit op
langsstroming



2.4.3 Afschuiving ZAF

Toetsing op afschuiving is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil + toelagen. De hier beschreven toetsmethode gaat uit van de veronderstelling dat de teenconstructie (bij steenzettingen) of verankering (bij blokkenmatten) dusdanig is dat de toplaag en/of granulaire laag en/of kleilaag stabiel zijn. De toetsing daarop vindt plaats in het aparte spoor Bezwijken van teen, overgangs- of aansluitingsconstructie (zie § 2.5.3 van dit katern).

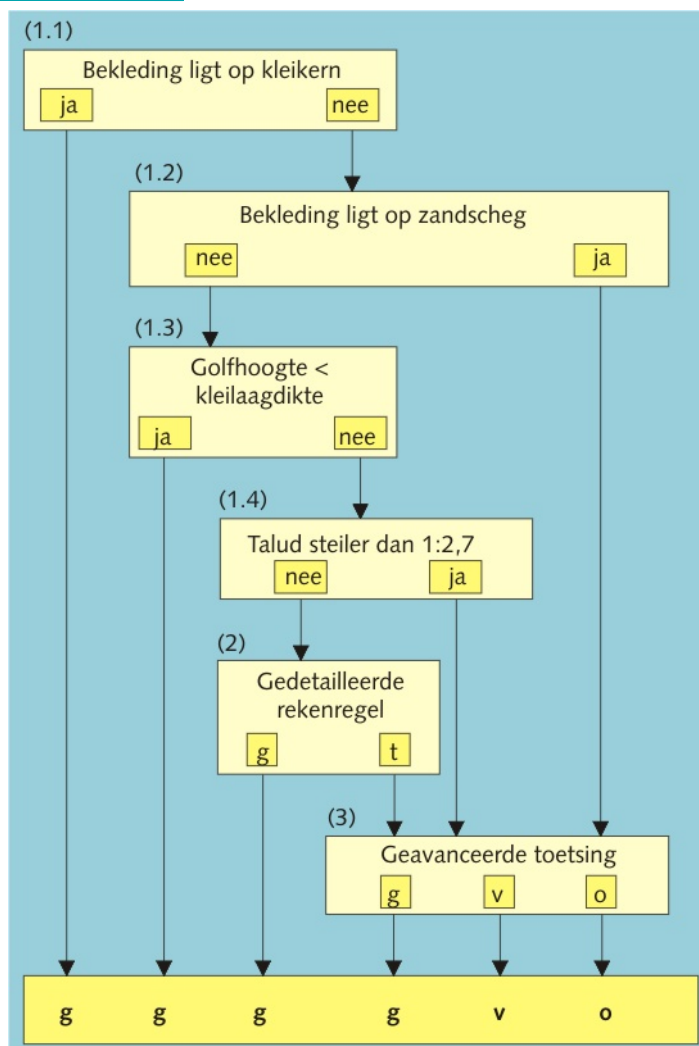
Stap 1 bevat een aantal eenvoudige voorwaarden die direct kunnen leiden tot een score 'goed' of die ervoor kunnen zorgen dat de gedetailleerde methode van stap 2 niet kan worden toegepast zodat direct geavanceerde toetsing nodig is. Als uit stap 2 een tussenscore 'twijfelachtig' volgt, is ook de geavanceerde toetsing van stap 3 nodig (zie Figuur 8 - 2.10).

Stap 1: Eenvoudige toetsing Afschuiving

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 dat een zandlaag aanwezig is tussen kleikern en bekleding. Bij een andere dijkopbouw wordt de toetsing voortgezet met stap 1.2.

Figuur 8 - 2.10
Beoordelingsschema Afschuiving ZAF

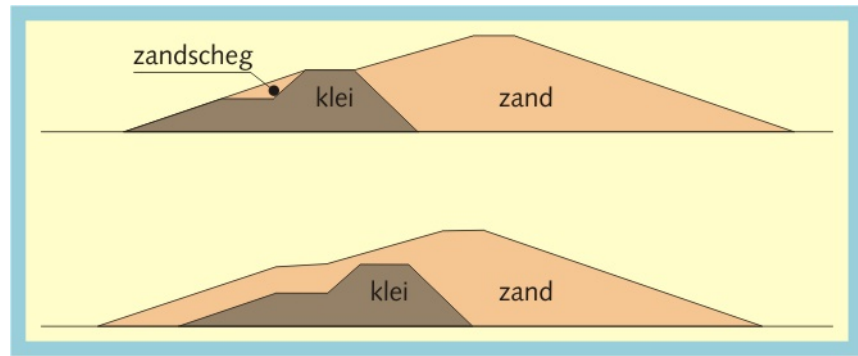


Stap 1.2: Bekleding ligt op zandscheg

Deze stap betreft één van de toepasbaarheidsvoorwaarden van de gedetailleerde methode in stap 2. 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. In Figuur 8 - 2.11 zijn twee soorten aangevulde kleidijken te zien; bij de bovenste opbouw is een zandscheg aanwezig. 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 dit geval niet toepasbaar omdat in de zandscheg een zeer hoge freatische lijn kan ontstaan, met daardoor een reëel gevaar voor afschuiving. De methode is dus wel toepasbaar als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) direct op een zandkern ligt, of op een kleilaag op de zandkern.

Als het profiel geen zandscheg bevat, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.3. Bij een dijkopbouw met zandscheg is geavanceerde toetsing nodig en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Figuur 8 - 2.11
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. In de beoordeling moet worden gerekend met de golfhoogte H_s bij Toetspeil. Op niveaus die meer dan $2 H_s$ onder Toetspeil liggen moet gerekend worden met de golfhoogte H_s die voor dat niveau voor topklaaginstabiliteit maatgevend is. Benadrukt wordt dat de andere bekledingslagen in deze deelstap niet mogen worden meegerekend. De toepasbaarheid van de regel is onafhankelijk van de taludhelling. Behalve voor steenzettingen is deze regel overigens ook van belang voor grasbekledingen (zie § 4.4.3 van dit katern).

Als de kleilaagdikte groter is dan de golfhoogte H_s is de eindscore 'goed'. Als dat niet het geval is, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4.

Stap 1.4: Talud steiler dan 1:2,7

Ook deze stap betreft een toepasbaarheidsvoorwaarde van de gedetailleerde methode van stap 2: de methode is niet toepasbaar als de taludhelling steiler is 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 geavanceerde toetsing nodig en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 2: Toetsing met rekenregel (gedetailleerd)

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

$$\Delta D + b_f + b_k > \min \left\{ 0,16 \cdot H_s^{0,2} \cdot T_p^{1,6} \cdot (\tan\alpha)^{0,8}; 1,5 \cdot H_s \right\} - 1,334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha) \cdot D_{15} \cdot \sqrt{T_p}$$

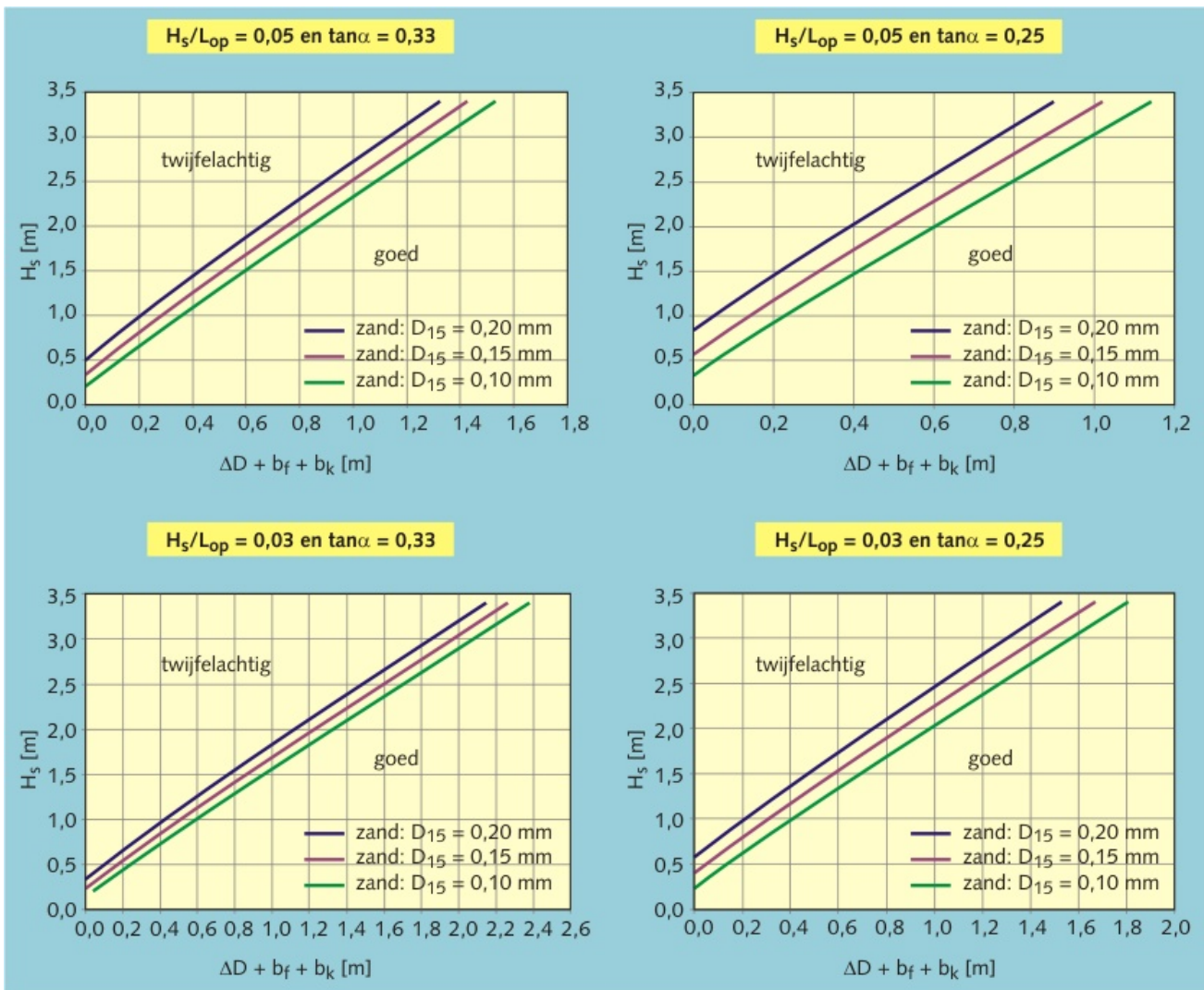
waarin:

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 cohesieve laag	[m]
α	=	lokale taludhelling	[°]
D_{15}	=	korrel diameter van het zand onder de bekleding die door 15% van het materiaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]

Ter verduidelijking: het is de bedoeling om bij de berekening het minimum te gebruiken van de twee factoren tussen de accolades. In Figuur 8 - 2.12 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 H_s/L_{0p} , taludhelling α en korrelgrootte van het zand D_{15} .

Figuur 8 - 2.12

Rekenregels gedetailleerde toetsing op afschuiving



Bij tussenliggende waarden en ook bij waarden buiten de grafieken kan de formule worden gebruikt (behalve bij taludhellingen steiler dan 1:2,7, zie stap 1.2.).

Als niet aan de eis wordt voldaan is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3: Geavanceerde toetsing Afschuiving

Als uit gedetailleerde toetsing geen eindscore volgt, kan de bekleding geavanceerd worden getoetst op afschuiving. Richtlijnen voor deze berekeningen worden gegeven in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

2.44 Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO

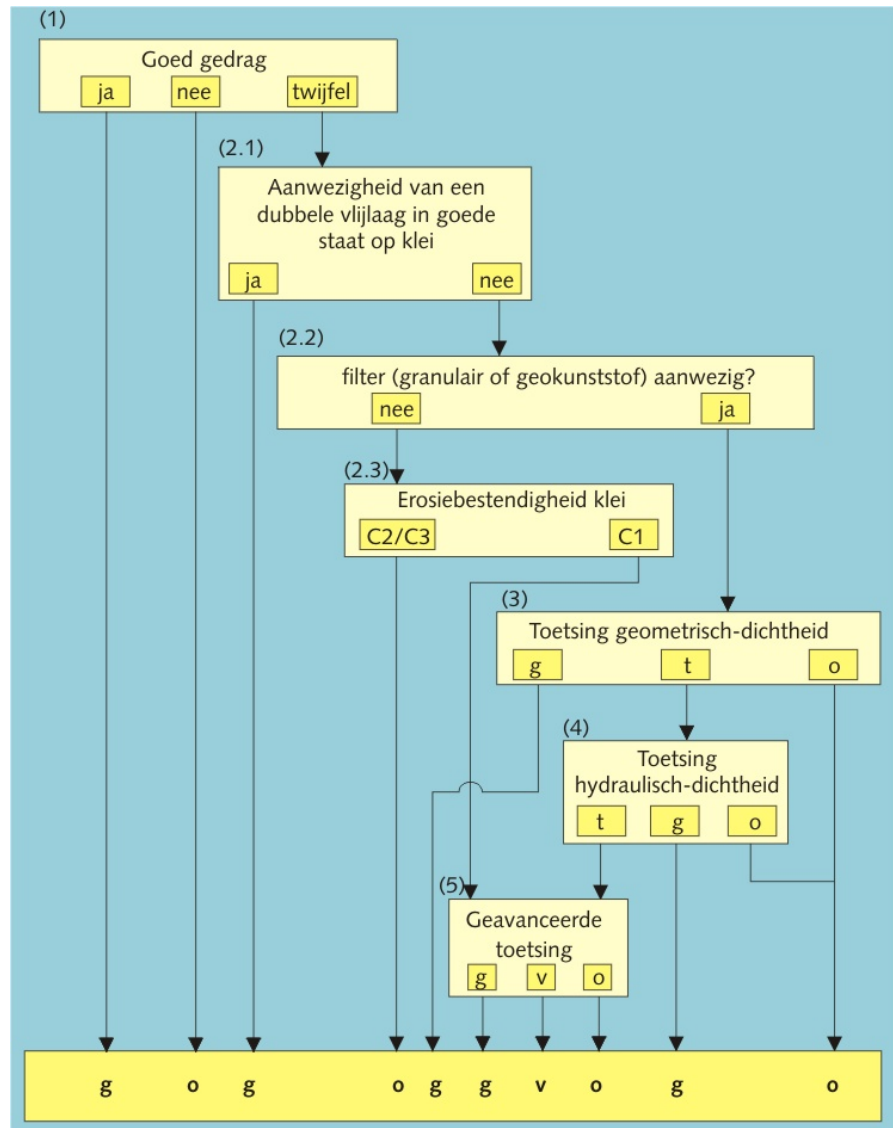
Toetsing op Materiaaltransport vanuit de ondergrond is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil + toeslagen. Stap 1 betreft het gedrag. In stap 2 kan een eindscore worden gehaald op basis van kwalitatieve kenmerken van de bekleding. Als dat niet het geval is, wordt getoetst op geometrisch-dichtheid (stap 3) en als daaruit geen eindscore volgt, wordt getoetst op hydraulisch-dichtheid (stap 4). Als uit stap 1 tot en met 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). Het beoordelingsschema is weergegeven in Figuur 8 - 2.13.

Stap 1: Gedrag Materiaaltransport vanuit de ondergrond

Materiaaltransport vanuit de ondergrond (en overigens ook vanuit de granulaire laag, zie § 2.4.5 van dit katern) 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 zinnig om apart te kijken naar individuele elementen en grotere oppervlakten.

Figuur 8-2.13

Beoordelingsschema Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO



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 beheersmaatregelen moet worden nagegaan wat de oorzaak is.

Als wordt gekeken naar grotere oppervlakten (orde 3 m 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 (stap 2);
- 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' onder de voorwaarde dat 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).

Stap 2: Kwalitatieve toetsing (eenvoudig)

Stap 2.1: Vlijlaag

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

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 hoofdstuk 4 van dit katern voor de bepaling van de erosiebestendigheid.

Als de klei 'goed/erosiebestendig' (c1) is, is geavanceerde toetsing nodig om tot een oordeel te komen; stap 3 en stap 4 bevatten geen rekenregels voor bekledingen zonder filter. Ook in dit geval is overigens wel een speciale 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 het gestelde in stap 1 is het zeker voor dit bekledingstype altijd nodig op de dijk te verifiëren of onder de toplaagelementen geen geulen en holtes aanwezig zijn.

Stap 3: Geometrisch-dichtheid (eenvoudig)

Bij een geometrisch-dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor omdat de afmetingen van het materiaal van de onderliggende laag groter zijn dan de openingen van de bovenliggende laag. Bij een granulair materiaal wordt de korrelgrootte gebruikt als maat voor de openingsgrootte. De toetsregels in deze stap bestaan daarom uit grenswaarden voor de verhouding tussen de korrelgrootte van de bovenliggende laag en van de 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 8 - 2.3.

Kader 8 - 2.3

Toetsing geometrisch-dichtheid (eenvoudig)

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 types onderscheiden:

- Type 1: granulaire laag van breed gegradeerd materiaal op zand of klei;
- Type 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 $D_{R85} > 10 \cdot D_{f15}$. 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 8 - 2.14.

Type 2: Granulaire laag van smal gegradeerd materiaal op zand of klei

Bij smal gegradeerd materiaal geldt $D_{R85} \leq 10 \cdot D_{f15}$. 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 8 - 2.14.

Strikt genomen zijn de regels in Figuur 8 - 2.14 overigens 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 types onderscheiden:

- Type 1: geokunststof op klei;
- Type 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:

- $O_{90} < 10 \cdot D_{b50}$;
- $O_{90} < D_{b90}$;
- $O_{90} < 0,1 \text{ mm}$.

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 types onderscheiden:

- Type 1: granulaire laag op geokunststof op klei;
- Type 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:

- $O_{90} < 10 \cdot D_{b50}$;
- $O_{90} < D_{b90}$;
- $O_{90} < 0,1 \text{ mm}$.

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

Type 2: Granulaire laag op geokunststof op zand

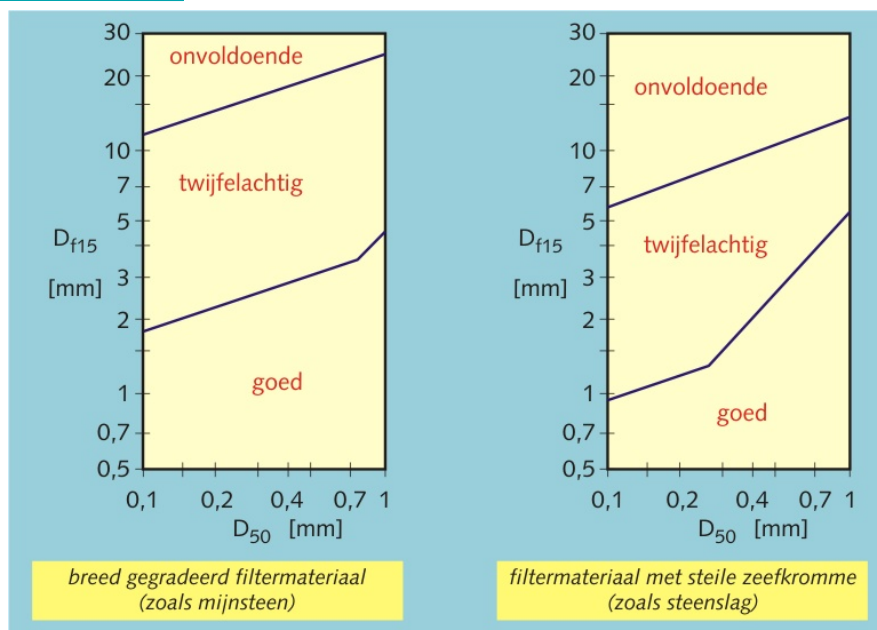
De regels zijn als volgt:

- de score is 'goed' als O_{90} kleiner is dan D_{b90} ;
- de score is 'onvoldoende' als O_{90} groter is dan $2,5 \cdot D_{b90}$.

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

Figuur 8 - 2.14

Eenvoudige toetsing granulaire filter op zand of klei



Stap 4: Hydraulisch-dichtheid (gedetailleerd)

Bij een hydraulisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor, omdat 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.

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.

Als wel aan de voorwaarden wordt voldaan, wordt de toetsingsberekening uitgevoerd met het rekenmodel STEENTOETS of ANAMOS. Voor de rekenmethodes wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27]. Uit de rekenregels volgt een score 'goed' of 'onvoldoende'.

Stap 5: Geavanceerde toetsing Materiaaltransport vanuit de ondergrond

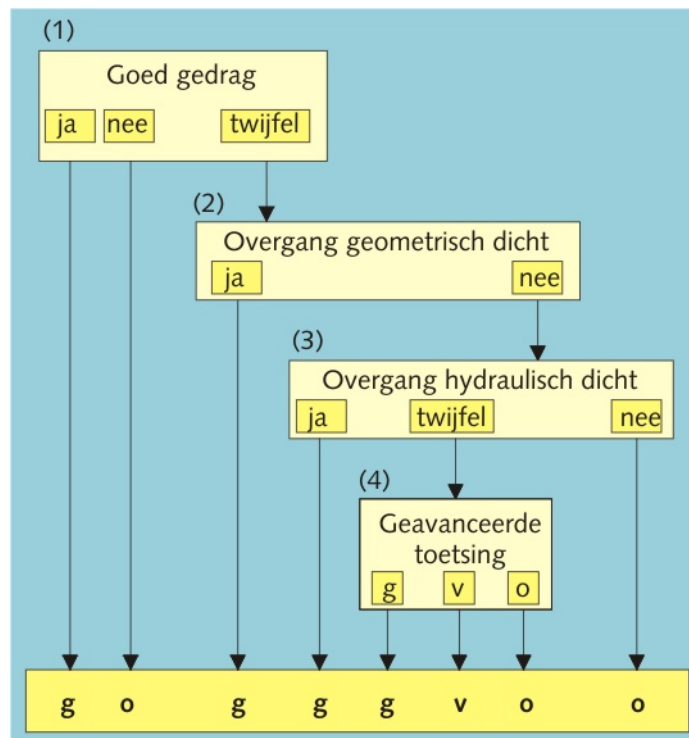
Geavanceerde toetsing kan worden bereikt vanuit stap 2.3 en vanuit stap 4. Verwezen wordt naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

2.4.5 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG

Toetsing op materiaaltransport vanuit de granulaire laag is alleen van belang voor zone A: het buitentalud onder Toetspeil + toeslagen. 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 is weergegeven in Figuur 8 - 2.15.

Figuur 8 - 2.15

Beoordelingsschema Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG



Stap 1: Gedrag Materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Materiaaltransport vanuit de granulaire laag wordt zichtbaar door holtes onder de toplaag of door verzakking van de toplaagelementen. Voor de regels wordt verwezen naar stap 1 van materiaaltransport vanuit de ondergrond (zie § 2.4.4 van dit katern).

Stap 2: Geometrisch-dichtheid (eenvoudig)

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

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 (gedetailleerd)

Bij een hydraulisch-dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor, omdat het verhang langs het grensvlak te klein is om transport vanuit de granulaire laag door de toplaag mogelijk te maken. Voor de rekenmethodes wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

Stap 4: Geavanceerde toetsing Materiaaltransport vanuit de granulaire laag

Bij een score 'twijfelachtig' in stap 3 is geavanceerde toetsing nodig om een eindscore te bereiken voor dit spoor. Verwezen wordt naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

2.4.6 Erosie van de onderlagen ZEO ('reststerkte')

Toetsing op erosie van de onderlagen heeft alleen zin voor bekledingen die een score 'onvoldoende' hebben voor Toplaaginstabiliteit onder langsstroming of onder golfaanval of Materiaaltransport vanuit de ondergrond of vanuit de granulaire laag (zie Figuur 8 - 2.1). De mate waarin reststerkte in rekening kan worden gebracht verschilt naar gelang 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 toetsingsregels, zodat geavanceerde toetsing nodig is. Verwezen wordt naar Technisch Rapport Steenzettingen [27]. De toetsingsregels in deze paragraaf zijn bedoeld voor steenzettingen in zone A (op het buitentalud onder Toetspeil + toeslagen) en voor onderlagen van granulair materiaal en klei, eventueel met een geokunststof. Voor onderlagen van zandasfalt wordt verwezen naar § 3.4.5.

Het principe van de toetsing op erosie van de onderlagen is, dat 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 kan worden uitgedrukt in een tijdsduur. Deze tijdsduur wordt de reststerkte genoemd. In formulevorm:

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

waarin:

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

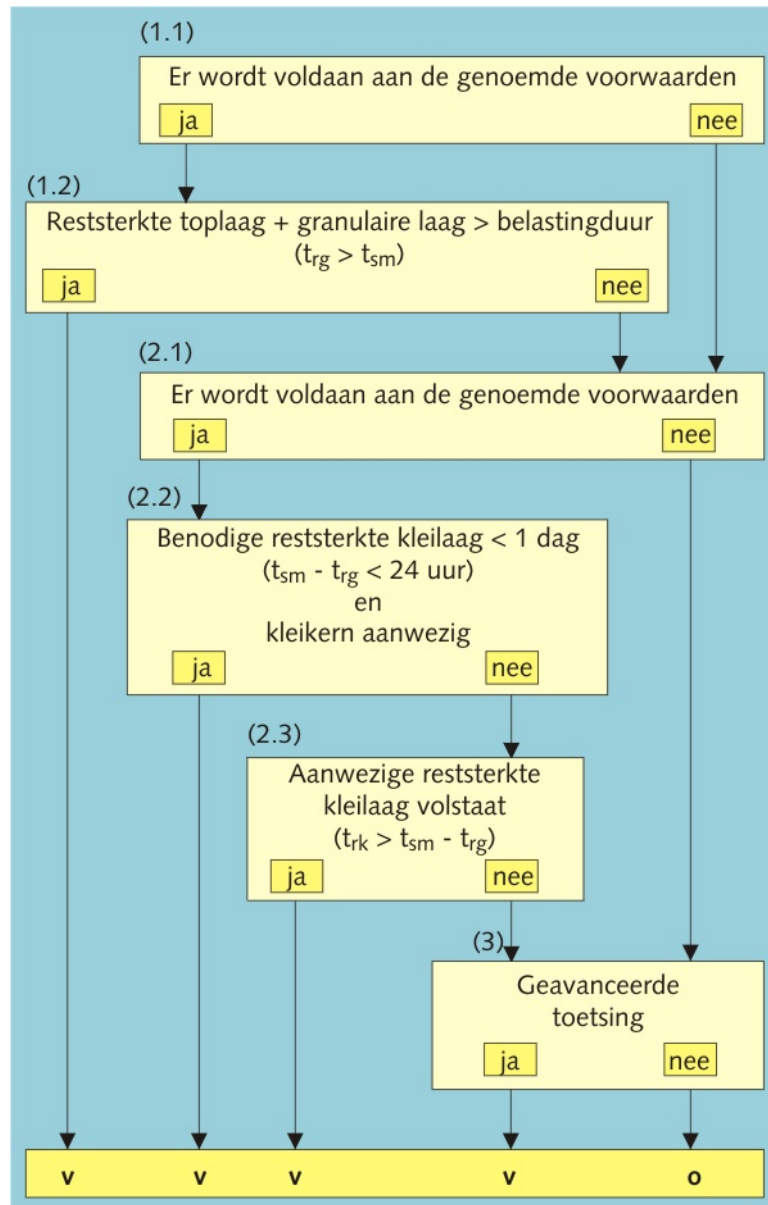
Voor de wijze van bepaling van de maatgevende belastingduur wordt verwezen naar § 2.2.6 van dit katern.

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 ter plaatse '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.

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 tot en met 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, met name vanwege gegevensverzameling. 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 beoordelingschema staat in Figuur 8 - 2.16.

Figuur 8 - 2.16

Beoordelingsschema Erosie van de onderlagen ZEO



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 (eenvoudig)

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' en
- er is geen sprake van vele losse toplaagelementen per m² bekleding en
- de golfhoogte is niet te groot: $H_s / \Delta D \leq 10 \cdot \xi_{0p}^{-0.67}$ en

- er ligt een geokunststof onder de granulaire laag, óf de laagdikte b is niet te klein:
 - bij loodrechte golfinval, invalshoek β kleiner dan 20° :
 $b \geq 0,1 + 0,023 \cdot (H_s \cdot I_{0p})^{0,5}$
 - bij scheve golfinval, invalshoek β groter dan 20° :
 $b \geq 0,1 + 0,038 \cdot (H_s \cdot I_{0p})^{0,5}$.

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 zinnig om de reststerkte te berekenen in stap 1.2.

Stap 1.2: Rekenregel reststerkte toplaag en granulaire laag (eenvoudig)

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:

$$t_{rg} = 163.000 \cdot T_p \cdot \exp[-0,74 \cdot \sqrt{(H_s \cdot I_{0p})}] / 3600$$

Opgemerkt wordt dat in deze formule t_{rg} in uren en T_p in seconden is.

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 is het zinnig na te gaan of het tekort aan reststerkte kan worden geleverd door de kleilaag. De toetsing wordt in dat geval voortgezet met stap 2.1.

Stap 2: Reststerkte kleilaag

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

Stap 2.1: Schifting aan de 'onveilige' kant (eenvoudig)

De reststerkte van de kleilaag mag alleen worden meegerekend als wordt voldaan aan drie voorwaarden:

- de score van de toplaag op afschuiving is 'goed' of 'voldoende' en
- de maatgevende golfhoogte H_s is kleiner dan 2 m en
- 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). Als wel aan alledrie de voorwaarden wordt voldaan, is het zinnig om de reststerkte van de kleilaag te berekenen; de toetsing wordt voortgezet met stap 2.2.

Stap 2.2: Schifting aan de 'veilige' kant (eenvoudig)

Als de dijk een kleikern heeft tot aan Toetspeil + toeslagen (aan de buitenzijde van het te toetsen profiel), is de reststerkte van de kleilaag t_{rk} gelijk aan 24 uur. Opgemerkt wordt dat de aanwezigheid van een kleikern moet 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 + toeslagen 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 door middel van 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 (gedetailleerd)

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 erosie categorie van de klei (zie hoofdstuk 4 van dit katern voor de bepaling hiervan);
- de maatgevende golfhoogte H_s ;
- de kleilaagdikte d_k .

In Tabel 8 - 2.1 is weergegeven hoe de waarde van t_{rk} kan worden bepaald uit deze parameters. Tabel 8 - 2.1 bestaat in feite uit vier tabellen (vier kwadranten); elk van deze deeltabellen betreft een combinatie van ligging t.o.v. GHW/WP/GRW en erosiebestendigheid. Binnen de deeltabellen staan de combinaties van golfhoogte en kleilaagdikte.

Tabel 8 - 2.1
Gedetailleerde bepaling reststerkte kleilaag t_{rk}

		Niveau		Beneden GHW/WP/GRW + 1m				Boven GHW/WP/GRW + 1m			
		H_s	Dikte kleilaag	0,2	0,5	1,0	> 1,6 < 2,0	0,2	0,5	1,0	> 1,6 < 2,0
Erosie- bestendigheid	Weinig (c3)	< 0,4 m		0	0	0	0	0	0	0	0
		0,7 m		2	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1
		1,0 m		3,5	3	3	2	3,5	3	3	2
		1,2 m		5	4,5	4,5	3	5	4,5	4,5	3
Goed (c1) en matig (c2)		< 0,4 m		0	0	0	0	0	0	0	0
		0,7 m		4	3	2	1,5	3,5	2,5	1,5	1
		1,0 m		7,5	6	4	3	6,5	5	3	2
		1,2 m		11	9	6	4,5	9,5	7,5	4,5	3

Het is verstandig om ten eerste de te overbruggen belastingduur te vergelijken met de maximaal haalbare reststerkte volgens Tabel 8 - 2.1. 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 8 - 2.1 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 erosie categorie van de klei kan alleen worden bepaald met laboratoriumonderzoek. Het

bepalen van de overige parameters (de erosie categorie en mogelijk ook de kleilaagdikte) heeft alleen zin 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 8 - 2.1 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 8 - 2.1 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 Erosie van de onderlagen

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). Verwezen wordt naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

2.5 Toetsing van overgangsconstructies bij steenzettingen

2.5.1 Beoordelingsporen

De toetsingsregels in deze paragraaf gelden voor alle randen van bekledingssecties van steenzettingen: 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 er op aansluitende bekleding negatief beïnvloeden en ze kunnen zelf bezwijken. Beide bedreigingen worden behandeld als een beoordelingspoot.

2.5.2 Invloed overgang op toplaaginstabiliteit ZOI

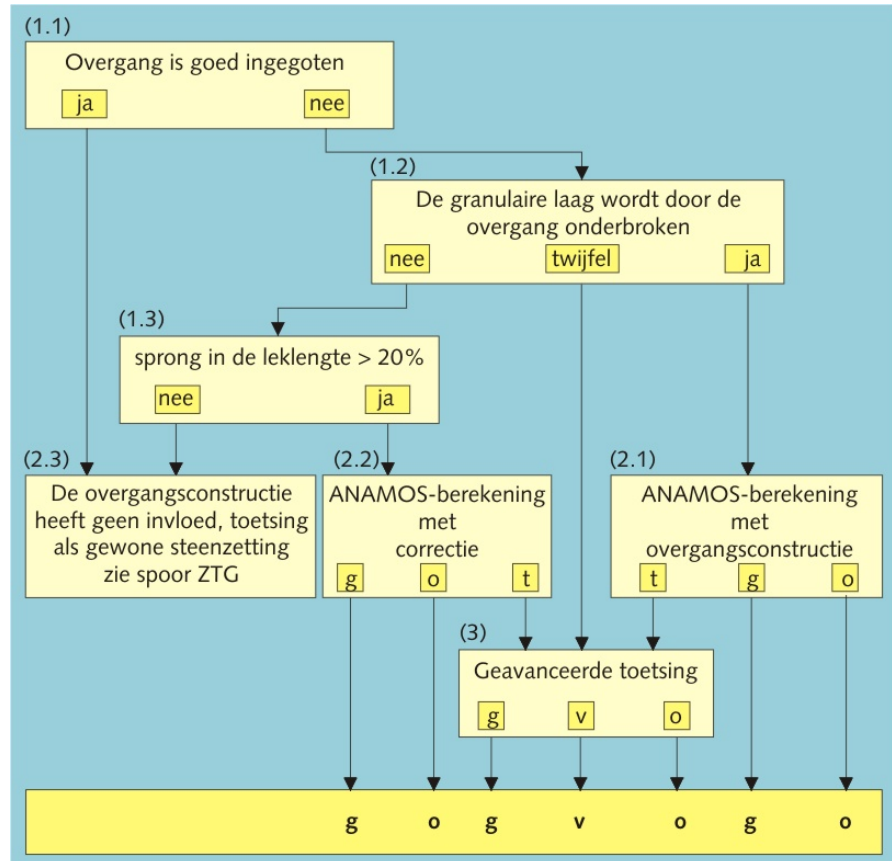
Overgangsconstructies of aansluitingsconstructies die de granulaire laag afsluiten kunnen de kans op toplaaginstabiliteit vergroten voor de steenzettingen er direct onder. Verder kan een grote sprong in de waterdoorlatendheid ter plaatse van een overgang een ongunstige invloed hebben. Beide invloeden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

Feitelijk wordt bij dit spoor de invloed bepaald op de score voor het spoor Toplaaginstabiliteit onder golfbelasting, zoals bij niet-waterkerende objecten in Katern 10 de invloed wordt bepaald op de score van een dijk op geotechnische stabiliteit. Toetsing op deze invloed is niet zinnig 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 begint met een aantal kwalitatieve en kwantitatieve controles waarmee wordt nagegaan welke toetsmethode moet worden gevolgd. Daarna volgt in stap 2 de gedetailleerde toetsing; de methode is in alle gevallen gebaseerd op de normale werkwijze volgens stap 3 van § 2.4.1 van dit katern, maar in twee gevallen moet een aangepaste werkwijze met behulp van het rekenmodel 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 § 2.4.6 van dit katern). Het toetschema staat in Figuur 8 - 2.17.

Figuur 8 - 2.17

Beoordelingsschema Invloed overgang op toplaaginstabiliteit ZOI



Stap 1: Aard en staat van de overgangs- of aansluitingsconstructie

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

Stap 1.1: Overgang ingegoten (eenvoudig)

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 (eenvoudig)

De belangrijkste invloed van de overgangsconstructie wordt veroorzaakt door de afsluiting van de granulaire laag. Als vaststaat dat de te toetsen overgangsconstructie de granulaire laag afsluit, is de rekenmethode van het rekenmodel 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 volgens het rekenmodel ANAMOS niet in rekening te worden gebracht; de 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 (gedetailleerd)

Als de waterbeweging in de granulaire laag niet door de overgang wordt onderbroken, is het van belang of de doorlatendheidseigenschappen tussen de twee aaneengesloten bekledingsecties sterk variëren. Deze doorlatendheidseigenschappen worden beschreven door de parameter Leklengte, die kan worden bepaald met het rekenmodel ANAMOS. Verwezen wordt naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

Als de leklengte meer dan 20% varieert, wordt de toetsing voor de bekleding met de kleinste van de twee leklengtes voortgezet met stap 2.2. Als de leklengte 20% of minder verschilt, is de invloed van de overgangsconstructie verwaarloosbaar en kan de steenzetting op topklaaginstabiliteit worden getoetst volgens de normale werkwijze (zie § 2.4.1 van dit katern).

Stap 2: Analytische methode (gedetailleerd)

Stap 2.1: ANAMOS berekening met overgangsconstructies

De gedetailleerde toetsing op topklaaginstabiliteit wordt uitgevoerd in stap 3 van het spoor Topklaagstabiliteit onder golfaanval (zie § 2.4.1 van dit katern). Als deze methode met het rekenmodel ANAMOS wordt uitgevoerd, kan ook de invloed van overgangen in rekening worden gebracht. Voor de uitwerking van de methode wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

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 overgangsconstructies

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 rekening worden gehouden met de invloed van de overgang, over een strook ter breedte van de leklengte, met een minimum van 0,5 m. Voor de werkwijze wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

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 § 2.4.1 van dit katern. De eindscore is 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende'.

Stap 3: Geavanceerde toetsing Invloed overgang op topklaaginstabiliteit

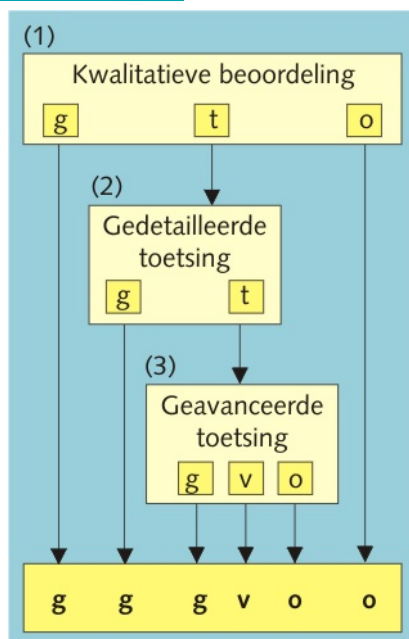
Bij een score 'twijfelachtig' na stap 2 wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing. Aandachtspunten hiervoor worden gegeven in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

2.5.3 Bezijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie ZOB

Er wordt eerst getoetst op een aantal kwalitatieve eisen en aandachtspunten (stap 1). Op basis van deze aandachtspunten kan een score 'onvoldoende' of 'goed' worden toegekend. Als geen uitsluitel 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 (stap 3). Het beoordelingsschema staat in Figuur 8 - 2.18.

Figuur 8 - 2.18

Beoordelingsschema voor Bezwijken overgangs-, teen- en aansluitingsconstructies ZOB



Stap 1: Kwalitatieve voorwaarden (eenvoudig)

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 'kammen' (het voorover hellen van de elementen erboven) van de bovenliggende bekleding 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 of;
- materiaaltransport vanuit de ondergrond of vanuit de granulaire laag (relevant voor alle types constructies) of;
- slechte staat van de materialen van de constructie zelf (relevant voor alle types).

Een score 'goed' kan worden gegeven onder een aantal voorwaarden:

- bovengenoemde verschijnselen zijn niet geconstateerd en;
- de constructie heeft een aantal malen hydraulische belasting ondergaan; dit moet per geval bekeken worden, maar het geldt in ieder geval voor bekledingen die al minimaal vijf jaar aanwezig zijn en die lager liggen dan GHW (bij zeedijken) of winterstreefpeil WP (bij meerdijken) en;
- specifiek voor teenconstructies:
 - 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 en;
 - er is niet een zodanige morfologische ontwikkeling van het voorland dat de teen erdoor wordt bedreigd.

Stap 2: Rekenregel teenbestorting (gedetailleerd)

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 waar geen sprake is van een teenbestorting, is deze stap 2 dus niet relevant en 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 $2 \cdot D_{n50}$ en een minimale sortering van 10-60 kg en
- er moet worden voldaan aan alle voorwaarden voor een score 'goed' in stap 1, behalve de tweede (dus: geen schade geconstateerd, bekleding flauwer dan 1:2, geen bedreigende morfologische ontwikkeling).

Stap 2.2: Rekenregel

Er bestaan aparte rekenregels voor de situaties met en zonder golfaanval-reducerend voorland. De methode om dit onderscheid te bepalen en de bijbehorende toetsregels worden behandeld in Technisch Rapport Steenzettingen [27].

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

Stap 3: Geavanceerde toetsing Bezwijken overgangs-, teen-, en aansluitings-constructies

In alle andere gevallen is de score 'twijfelachtig' en is geavanceerde toetsing nodig. Hiervoor wordt verwezen naar Technisch Rapport Steenzettingen [27].

3 Asfaltbekledingen

3.1 Inleiding

3.1.1 Definitie en afbakening

In dit hoofdstuk worden de toetsregels voor asfaltbekledingen gegeven. Zoals aangeduid in Tabel 8 - 1.1 worden niet alle bekledingstypes expliciet behandeld. De regels in dit hoofdstuk zijn alleen geldig voor de volgende types:

1. waterbouwasfaltbeton;
4. geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening;
5. open steenasfalt;
6. zandasfalt;
7. breuksteen, gepenetreerd met asfalt (vol en zat).

De volgende aanverwante bekledingstypes worden niet behandeld in dit Voorschrift omdat ze minder vaak voorkomen:

2. asfaltmastiek;
3. dicht steenasfalt;
8. gezette baksteen/betonsteen/basalt, gepenetreerd met asfalt (vol en zat);
9. breuksteen, gepenetreerd met asfalt (patroonpenetratie).

Voor de toetsregels van type 2, 3 en 9 wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren [24]; type 8 wordt behandeld hoofdstuk 2 van dit katern.

Asfaltbekledingen bestaan uit een bovenlaag en soms uit één of meerdere onderlagen. De onderlaag is gedefinieerd als een laag die uit een ander materiaal bestaat dan het dijklichaam en bovendien een andere functie vervult dan de bovenlaag. De volgende onderlagen komen, apart of in combinatie, voor:

- klei;
- keileem;
- zandasfalt;
- geotextiel;
- loskorrelige materialen, zoals mijnsteen, grind en steenslag.

In veel constructies wordt de bovenlaag echter direct op het kernmateriaal zand aangelegd. Er is dan geen sprake van een onderlaag.

3.1.2 Faalmechanismen en beoordelingsporen

Voor asfaltbekledingen worden vier faalmechanismen onderscheiden:

1. bezwijken van de bovenlaag door golfklappen;
2. opdrukken van de bovenlaag door wateroverdruk al dan niet samen met de onderlaag;
3. uitspoeling van het dijklichaam van onder de bekledingsconstructie;
4. bezwijken van de onderlaag bij bezwijkende bovenlaag.

Instabiliteit van de bekleding door ontgronding voor de dijk wordt behandeld bij de toetsing van de teenconstructie, volgens de regels in § 3.5 van dit katern. Er treedt een onveilige situatie op als één of meer van de faalmechanismen leiden tot een onacceptabele erosie van het dijklichaam. De vier faalmechanismen resulteren in vijf beoordelingssporen:

- Beoordeling ernstige schade AES;
- Materiaaltransport AMT;
- Golfklap AGK;
- Wateroverdruk AWO;
- Bezwijken van de onderlaag ABO.

De vijf beoordelingssporen hoeven niet allemaal voor alle gevallen te worden doorlopen: de noodzaak voor het doorlopen van de vier sporen voor de toplaag (Beoordeling ernstige schade, Materiaaltransport, Golfklap en Wateroverdruk) hangt af van de ligging en het type asfaltbekleding. De beoordeling bij het spoor Beoordeling ernstige schade AES verloopt vergelijkbaar als bij het spoor Materiaaltransport AMT. De beoordelingscriteria zijn echter minder streng, omdat er alleen sprake is van golfploop en golfneerloop. De noodzaak voor het doorlopen van het spoor Bezwijken van de onderlaag ABO hangt af van de resultaten van de drie sporen voor de toplaag.

Afhankelijk van de ligging van de bekleding in het dwarsprofiel en het type asfaltbekleding hoeft niet elk van de vier beoordelingssporen voor de toplaag (Beoordeling ernstige schade, Materiaaltransport, Golfklap en Wateroverdruk) te worden doorlopen:

- ten aanzien van de ligging: bij de toetsing worden in het dwarsprofiel zes zones onderscheiden. Deze zone-indeling wordt bepaald door de belasting, en wordt daarom nader uitgewerkt in § 3.2 van dit katern. Een asfaltbekleding boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$ wordt alleen beoordeeld op de aanwezigheid van ernstige schade ($z_{2\%}$ is de oploophoogte t.o.v. Toetspeil + toeslagen die door 2% van de golven wordt overschreden). Indien de kruin en het binnentalud zijn bekleed met asfalt en deze onder het niveau Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$ liggen, worden deze eveneens beoordeeld op de aanwezigheid van ernstige schade. Boven Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$ hoeft geen beoordeling te worden uitgevoerd. Boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$ is alleen het spoor Materiaaltransport relevant. Tussen Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$ en de maatgevende grondwaterstand (MGW, wordt toegelicht in § 3.4.4 van dit katern) hoeft de toplaag niet te worden getoetst op Wateroverdruk. Tussen de maatgevende grondwaterstand en gemiddeld laagwater (GLW) zijn alle sporen van belang. Onder gemiddeld laagwater hoeft niet te worden getoetst op Golfklap;
- ten aanzien van de bekledingstypes: bekledingen van type 4, 5 en 6 hoeven niet te worden getoetst op Wateroverdruk.

De relatie tussen ligging, type en te doorlopen sporen voor de toplaag wordt samengevat in Tabel 8 - 3.1.

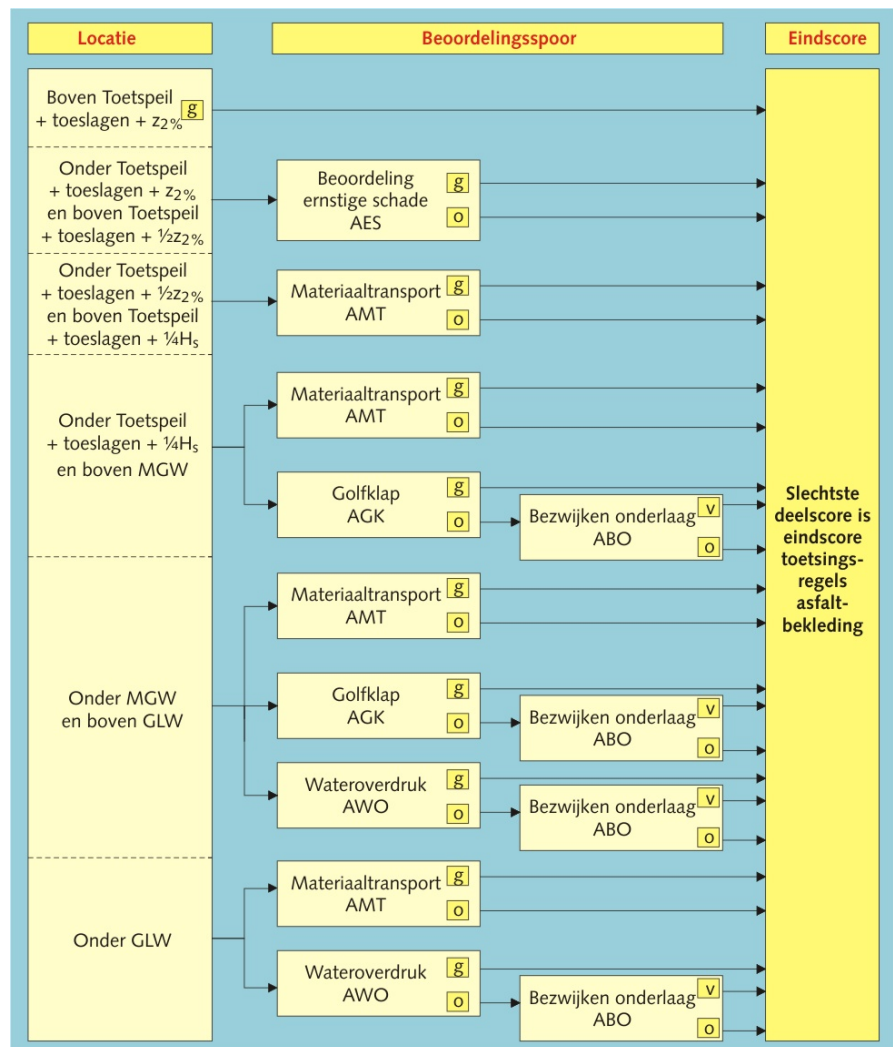
Het spoor Bezwijken van de onderlaag is alleen relevant in combinatie met de sporen Golfklap en Wateroverdruk: het spoor Bezwijken van de onderlaag biedt de mogelijkheid om een eindscore 'voldoende' te geven als de toplaag 'onvoldoende' is op de sporen Golfklap of Wateroverdruk, en hoeft dus alleen te worden doorlopen als de score op één van deze sporen 'onvoldoende' is.

De relatie tussen de toplaagssporen en bezwijken van de onderlaag ABO wordt samengevat in het hoofdschema van Figuur 8 - 3.1.

Tabel 8-3.1
Beoordelingssporen toplaag afhankelijk van ligging en type

Zone \ Type	1	4	5	6	7
Boven Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$	-	-	-	-	-
Onder Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$ en boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$	AES	AES	AES	AES	AES
Onder Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$ en boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$	AMT	AMT	AMT	AMT	AMT
Onder Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$ en boven MGW	AMT AGK	AMT AGK	AMT AGK	AMT AGK	AMT AGK
Onder MGW en boven GLW	AMT AGK AWO	AMT AGK	AMT AGK	AMT AGK	AMT AGK AWO
Onder GLW	AMT AWO	AMT	AMT	AMT	AMT AWO

Figuur 8-3.1
Hoofdschema asfaltbekledingen



3.2 Belastingen

De in rekening te brengen belastingen staan in Katern 4. In deze paragraaf wordt voor elk van de beoordelingssporen van asfaltbekledingen beknopt aangegeven welke belastingkenmerken specifiek van belang zijn. Daarvoor wordt eerst de zone-indeling behandeld.

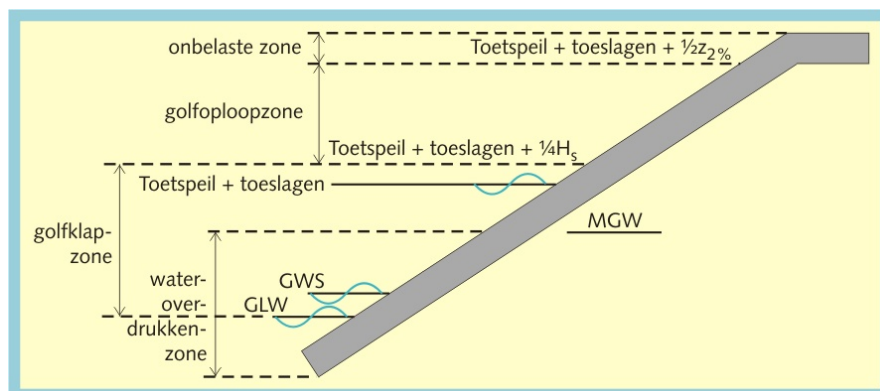
3.2.1 Zone-indeling

In § 3.1.2 van dit katern is al globaal aangegeven dat niet elk faalmechanisme van belang is voor de gehele dijk. Voor de toetsing wordt de dijk in dwarsrichting, per sectie, onderverdeeld in verschillende zones:

- **onbelaste zone** (boven Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$);
- **hoge golfploopzone** (boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$ en onder Toetspeil + toeslagen + $z_{2\%}$);
- **lage golfploopzone** (boven Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$ en onder Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{2} \cdot z_{2\%}$);
- **golfklapzone** (onder Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$ en boven gemiddeld laagwater);
- **wateroverdrukkenzone** (onder de maatgevende grondwaterstand).

In Figuur 8 - 3.2 is de invulling van de verschillende zones weergegeven. De exacte begrenzingen worden hierna behandeld per beoordelingsspoor. De wateroverdrukkenzone en de golfklapzone zullen elkaar vaak overlappen; de bekleding in die overlapzone moet worden getoetst op zowel Golfklap als Wateroverdruk. De toetsing van de golfploopzone is beperkt tot Materiaaltransport of Beoordeling van de Ernstige Schade.

Figuur 8 - 3.2
Schematische weergave van de belastingzones op het talud



3.2.2 Materiaaltransport AMT

Transport van materiaal vanuit de onderlaag door de toplaag wordt veroorzaakt door golfbelasting of grondwaterstroming. Toetsing op dit spoor is daarom nodig voor de golfklap- en lage golfploopzone (zie Figuur 8 - 3.2). De toetsingsmethode is beperkt tot een inspectie of de asfaltbekleding zodanig beschadigd is dat materiaaltransport plaatsvindt. Richtlijnen voor deze inspectie staan in § 3.3.1 van dit katern, de toetsregels staan in § 3.4.1 van dit katern.

3.2.3 Beoordeling ernstige schade AES

Voor dit beoordelingsspoor bestaat de belasting uit stroming door op- en aflopend water als gevolg van golfploop. Toetsing op dit spoor is nodig voor de hoge golfploopzone. De toetsingsmethode is beperkt tot een inspectie of de asfaltbekleding zodanig beschadigd is dat direct materiaaltransport door stromend water plaatsvindt. De belastingparameters zijn daarom niet rechtstreeks van belang voor de toetsing op

Materiaaltransport. Richtlijnen voor deze inspectie staan in § 3.3.1 van dit katern, de toetsregels staan in § 3.4.2 van dit katern.

3.2.4 Golfklap AGK

De bovengrens van de golfklapzone ligt op Toetspeil + toeslagen + $\frac{1}{4} \cdot H_s$. De ondergrens ligt op Gemiddeld Laagwater (GLW). Bij veel zeedijken ligt de ondergrens van de asfaltbekleding overigens hoger dan GLW, bijvoorbeeld als het voorland op NAP-niveau ligt.

Voor dit beoordelingsspoor wordt de belasting gevormd door de golfaanval gedurende de maatgevende storm, uitgedrukt in het verloop van de waterstand tijdens de storm, de significante golfhoogte H_s en de gemiddelde golfperiode T_m . Afhankelijk van het golfspectrum is de gemiddelde golfperiode 10% à 30% kleiner dan de piekperiode T_p . Indien nodig kan hierover contact worden gezocht met de Helpdesk Water. Het verloop van de waterstand tijdens de storm is van belang omdat de vermoeiing van de bekleding afhangt van het aantal golfklappen.

Daarnaast is het Toetspeil + toeslagen van belang omdat daardoor de bovengrens van de golfklapzone wordt bepaald. De meeste golfklappen vinden iets onder Toetspeil + toeslagen plaats. Daarom wordt voor de toetsing van een asfaltbekleding op een bepaald niveau gerekend met de golven die horen bij een waterstand die de helft van de golfhoogte H_s hoger ligt, maar niet hoger dan Toetspeil + toeslagen.

Bij de beoordeling wordt gebruik gemaakt van hydraulische parameters die behoren bij windgolven; scheepsgolven zijn zelden of nooit maatgevend voor asfaltbekledingen omdat de belastingduur altijd kort is.

3.2.5 Wateroverdruk AWO

De bovengrens van de wateroverdrukkenzone is het niveau van de grondwaterstand in het dijklichaam op het moment dat de maximale wateroverdruk optreedt. Voor bepaling van de ligging van deze grondwaterstand wordt verwezen naar de paragraaf over de beoordeling op Wateroverdruk (zie § 3.4.4 van dit katern). Als ondergrens wordt de onderkant van de gesloten bekleding aangehouden. In Figuur 8 - 3.2 is de wateroverdrukkenzone grafisch weergegeven.

Voor dit spoor wordt de belasting alleen gevormd door waterstanden: het Toetspeil + toeslagen en de gemiddelde buitenwaterstand zijn van belang. In § 3.4.4 van dit katern wordt hierop nader ingegaan.

3.2.6 Bezwijken van de onderlaag ABO

Voor het bezwijken van de onderlaag van een asfaltbekleding bestaan geen specifieke toetsregels: afhankelijk van het type onderlaag wordt daarvoor in § 3.4.5 van dit katern verwezen naar toetsregels op specifieke plaatsen in dit katern. In het algemeen wordt de belasting voor dit spoor bepaald door de duur en zwaarte van de golfbelasting. Voor de duur van de belasting wordt het stormverloop gehanteerd zoals behandeld in de HR2006 [45].

3.3 Sterkte

In deze paragraaf worden de sterktekenmerken van asfaltbekledingen behandeld per toetsspoor. De actuele staat van de bekleding speelt bij asfalt een belangrijke rol; daarom begint de paragraaf met een inleiding over visuele inspectie van schadebeelden.

3.3.1 Visuele inspectie

De schade aan de bekleding wordt bij aanvang van de toetsing met een visuele inspectie vastgesteld. Bij de visuele inspectie wordt gekeken naar twee aspecten: de ernst en de omvang van de schade. Door middel van visuele inspectie worden per schadeplek de ernst en omvang vastgesteld. De beoordeling vindt plaats in de sporen Beoordeling Ernstige Schade AES, Materiaaltransport AMT en Golfklap AGK met behulp van een schadeclassificatie.

In deze paragraaf wordt besproken welke schadebeelden voorkomen bij welke asfalttypes en voor welke sporen ze van belang zijn.

Schadebeelden

Door verouderingsmechanismen veranderen de sterkte-eigenschappen van asfalt in de tijd: de scheurgevoeligheid en de erosiegevoeligheid nemen toe. Vergaande afname van deze sterkte-eigenschappen leidt tot schade. Met het periodiek uitvoeren van een visuele inspectie kan het verloop van de schade in de tijd worden vastgelegd. Na het uitvoeren van de visuele inspectie wordt vastgesteld of de aangetroffen schade de veiligheid van de waterkering in gevaar brengt.

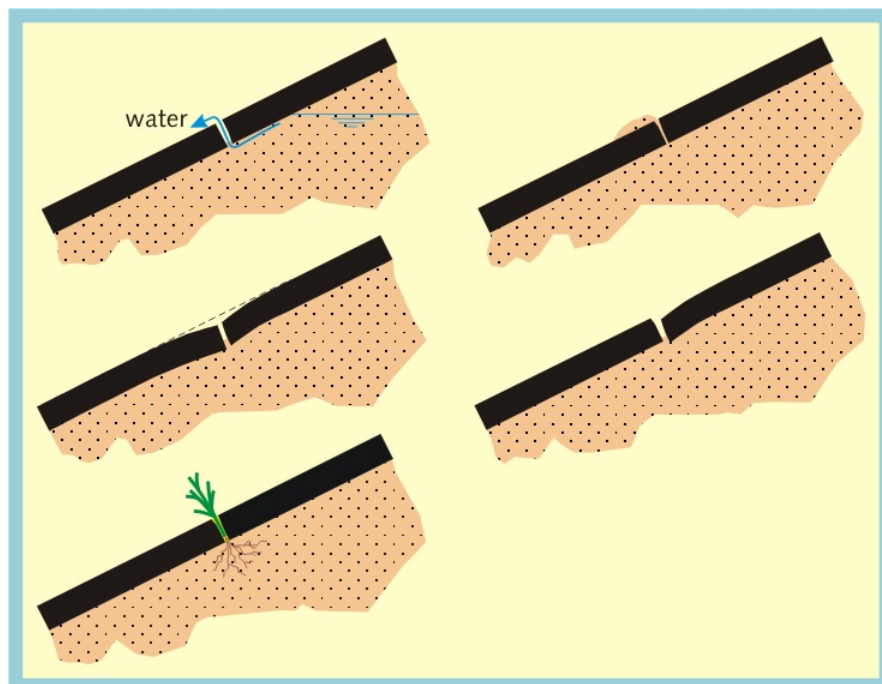
In het algemeen wordt van schade gesproken als door één of andere oorzaak de kwaliteit van de constructie zichtbaar is afgenomen. Ten behoeve van de toetsing moet de schade worden vertaald naar duidelijk waarneembare schadebeelden die objectief meetbaar en objectief te beoordelen zijn. In het rapport Veiligheidsbeoordeling van Asfalt Dijkbekledingen [31] is fotomateriaal opgenomen van de hieronder genoemde schadebeelden.

In het algemeen worden vijf schadebeelden onderscheiden:

- scheuren in de bekleding (zie Figuur 8 - 3.3);
- openstaande naden; naden kunnen zowel horizontaal als verticaal lopen;
- aangetast oppervlak;
- schade door constructiefouten of bijzondere belastingen;
- begroeiing op de bekleding.

Figuur 8 - 3.3

Versijningsvormen van doorgaande scheuren bij waterbouwasfaltbeton



Aangetast oppervlak wordt beoordeeld bij het spoor Golfklap (zie § 3.4.3 van dit katern). De overige schadebeelden worden beoordeeld bij het spoor Materiaaltransport (zie § 3.4.1 van dit katern).

Constructiefouten kunnen leiden tot gaten waardoor bijvoorbeeld uitspoeling van de grond onder de bekleding optreedt. Bijzondere belastingen zijn bijvoorbeeld scheepsaanvaringen. Bij de visuele inspectie voor dit schadebeeld dient te worden nagegaan of de zanddichtheid van de bekleding bij schade nog is gewaarborgd.

Bij waterbouwasfaltbeton (type 1) en zandasfalt (type 6) kunnen alle vijf de schadebeelden voorkomen. Bij open steenasfalt (types 4 en 5) komen scheuren en openstaande naden niet voor. Vol en zat gepenetreerde breuksteen (type 7) vertoont nauwelijks tot geen schade. Voor de types 4, 5 en 7 zijn bij het spoor Materiaaltransport daarom alleen gaten door constructiefouten of bijzondere belastingen en begroeiing van belang.

3.3.2 *Materiaaltransport AMT*

De weerstand tegen materiaaltransport wordt bepaald door de verhouding tussen de afmetingen van de schade in de toplaag en de afmetingen van het loskorrelige materiaal van de onderlaag. De toetsingsmethode is beperkt tot een inspectie of materiaaltransport plaatsvindt. Richtlijnen voor deze inspectie en toetsregels staan in § 3.4.1 van dit katern. De sterkteparameters zijn daarom niet rechtstreeks van belang voor de toetsing op Materiaaltransport.

3.3.3 *Beoordeling ernstige schade AES*

Bij de beoordeling van de ernstige schade is de weerstand tegen materiaaltransport van belang. Deze wordt bepaald door de verhouding tussen de afmetingen van de schade in de toplaag en de afmetingen van het loskorrelige materiaal van de onderlaag. De toetsingsmethode is beperkt tot een inspectie op ernstige schade. Richtlijnen voor deze inspectie en toetsregels staan in § 3.4.2 van dit katern. De sterkteparameters zijn daarom niet rechtstreeks van belang voor de beoordeling op ernstige schade.

3.3.4 *Golfklap AGK*

Parameters

De weerstand van de asfaltbekleding tegen het bezwijken onder golfklappen wordt bepaald door de kwaliteit van het asfalt en door de laagdikte. Ten aanzien van de kwaliteit wordt de eenvoudige toetsing gebaseerd op mengsamenstelling, leeftijd en holle ruimte (van waterbouwasfaltbeton) of mortelgehalte (van open steenasfalt). Deze parameters worden bepaald met het zogenoemde standaardonderzoek. In de gedetailleerde toetsing wordt daarnaast naar de sterkte en stijfheid van het asfalt gekeken (te bepalen met mechanisch onderzoek). De verschillende vormen van gegevensverzameling voor het spoor Golfklap worden verderop in deze paragraaf behandeld.

De laagdikte speelt een rol in alle toetsingsniveaus. Bij de toetsing wordt voor de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte de zogenaamde 'karakteristieke waarde' gebruikt: de waarde voor de laagdikte met een onderschrijdingskans van 5% ($d_{5\%}$). De wijze van bepaling van $d_{5\%}$ is afhankelijk van de beschikbaarheid van informatie (alleen besteksgegevens of ook metingen):

- als alleen een bestekswaarde bekend is, kan worden gerekend met een veilige schatting, afhankelijk van het type asfaltbekleding:
 - voor type 7 (met asfalt gepenetreerde breuksteen) zijn nooit meetwaarden bekend; daarvoor geldt:

$$d_{5\%} = 0,7 \cdot \text{bestekslaagdikte};$$

- bij alle andere types is de diktevariatie kleiner:
 $d_{5\%} = 0,8 \cdot \text{bestekslaagdikte}$;
- als wél metingen beschikbaar zijn, kan de 5%-grens worden bepaald uit de cumulatieve frequentieverdeling van de waarnemingen.

Gegevensverzameling

Voor het bepalen van de aanwezige sterkte van de bekleding is informatie nodig over laagdikte en materiaaleigenschappen. Daarvoor is in ieder geval een visuele inspectie nodig. Als de schade gering is, is het mogelijk om de aanleg- of besteksgegevens te gebruiken. Als de resultaten van de visuele inspectie daartoe aanleiding geven (zie § 3.4.3 van dit katern), moeten de sterkte en stijfheid worden bepaald door het nemen en onderzoeken van boorkernen (mechanisch onderzoek) op deze schadeplekken. Als er onvoldoende aanleg- en besteksgegevens bekend zijn moet een standaardonderzoek worden uitgevoerd. Als de veroudering van de bekleding daartoe aanleiding geeft moet een combinatie van niet-destructieve veldmetingen en mechanisch laboratoriumonderzoek worden uitgevoerd. Niet-destructieve veldmetingen omvatten grondradarmetingen (GPR) en valgewicht-deflectiemetingen (VGD). In een Werkbeschrijving [41] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

Toetsing indien al eerder de sterkte en stijfheid zijn bepaald

Indien al eerder de sterkte en stijfheid van de bekleding door een combinatie van niet-destructieve veldmetingen en mechanisch laboratoriumonderzoek zijn bepaald, hoeft dit niet voor elke toetsing te worden herhaald. In dit geval kan met een beperkt onderzoek worden nagegaan of de eerder bepaalde sterkte en stijfheid nog steeds mogen worden gehanteerd bij de toetsing. Is dit niet het geval, dan moeten de sterkte en stijfheid opnieuw worden bepaald.

Aanleg- en besteksgegevens

De aanleggegevens zijn soms onbekend of voldoende bekend. Als de gegevens van minder dan 8 monsters van één uitgevoerd werk bekend zijn is dit onvoldoende en in dat geval moet een beperkt boorprogramma worden uitgevoerd. Voor een beperkt boorprogramma worden op een dijkstrekking acht kernen met een diameter van 100 mm geboord. De strekking wordt verdeeld in minimaal acht secties van gelijke lengte, waarbij de lengte niet groter mag zijn dan 250 m. De coördinaten van de boorlocatie worden in iedere sectie op aselechte wijze gekozen (in de golfklap- en/of overdrukzone). Als dijkstrekking wordt een dijkdeel genomen waarvan de asfalsamenstelling redelijk constant wordt verondersteld. Hierbij kan worden gedacht aan een bekleding die binnen één contract (bestek) is gemaakt. Op de boorkernen wordt een standaardonderzoek uitgevoerd. Als er wél voldoende informatie is over mengsamenstelling en kwaliteit maar niet over de laagdikte, kan de eenvoudige toetsing op Golfklap en Wateroverdruk worden uitgevoerd op basis van een veilige aanname voor de laagdikte op basis van besteksgegevens (zie de tekst onder het kopje Parameters eerder in deze paragraaf). Het is dus niet nodig om alleen voor bepaling van de laagdikte een boorprogramma uit te voeren.

Standaardonderzoek

In het standaardonderzoek worden de parameters bepaald die nodig zijn voor de eenvoudige toetsing. Het onderzoek bestaat per kern uit het bepalen van:

- de laagdikte;
- de samenstelling;
- de dichtheid van het mengsel;
- de bitumenkwaliteit (overigens wordt deze parameter normaal gesproken wel bepaald, maar is niet nodig voor de toetsing);
- de dichtheid van het proefstuk;
- de holle ruimte.

Zie voor de methode van het standaardonderzoek de Standaard RAW Bepalingen [35].

Niet-destructief onderzoek ter bepaling van de laagdikte en stijfheid

Voor de gedetailleerde toetsing op Golfklap is informatie over de laagdikte en stijfheid van het asfalt nodig; dit wordt bepaald met niet-destructief onderzoek. Met valgewicht-deflectiemetingen (VGD) in de golfklapzone wordt de stijfheid van de bekleding en de ondergrond bepaald. Uit de stijfheid van de ondergrond wordt de beddingsconstante berekend. Om de stijfheden uit de VGD-metingen te kunnen bepalen moet de laagdikte bekend zijn. Deze wordt bepaald met grondradarmetingen (GPR). Op basis van de niet-destructieve metingen worden de locaties bepaald waar boorkernen worden genomen voor mechanisch onderzoek. In een Werkbeschrijving [41] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

Mechanisch onderzoek ter bepaling van sterkte en stijfheid

Voor de gedetailleerde toetsing op Golfklap is informatie over de sterkte van het asfalt nodig; dit wordt bepaald met mechanisch onderzoek. Uit de boorkernen worden proefstukken gezaagd. Deze worden in het laboratorium beproefd, zodat de materiaaleigenschappen kunnen worden bepaald. Bij waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt worden met dynamische proeven in het laboratorium de stijfheid (elasticiteitsmodulus E_{dyn}) en de vermoeiingssterkte van het asfalt bepaald. Daarnaast wordt een standaardonderzoek uitgevoerd op de monsters waarvan de mechanische eigenschappen worden bepaald ter onderbouwing van de resultaten. Voor Golfklap zijn met name de mechanische eigenschappen onder in de asfaltlaag van belang, omdat het bij dit mechanisme gaat om buiging van het asfalt onder de golfklapbelasting. In een werkbeschrijving [41] is de aanpak gedetailleerd beschreven. Bij een geavanceerde toetsing kan daarnaast de breuksterkte van het asfalt worden bepaald. De breuksterkte kan worden getoetst aan de optredende spanningen in het asfalt. Daarnaast kan de breuksterkte worden gebruikt om het vermoeiingsgedrag bij een gering aantal lastherhalingen beter te schatten.

3.3.5 Wateroverdruk AWO

De weerstand van de asfaltbekleding tegen het faalmechanisme Wateroverdruk wordt bepaald door de dichtheid en de laagdikte van het asfalt plus eventuele kleilagen daar direct onder. Als rekenwaarde voor de laagdikte wordt voor het spoor Wateroverdruk altijd de gemiddelde waarde gebruikt, onafhankelijk van de herkomst van de gegevens (bestek- of aanleggegevens of metingen). In het algemeen volstaan voor de toetsing op Wateroverdruk de aanleg- of besteksgegevens. Als dat niet het geval is, kunnen gegevens over de dikte en dichtheid worden gebruikt uit het standaardonderzoek conform de Standaard RAW Bepalingen [35] (zie § 3.3.4 van dit katern).

3.3.6 Bezwijken van de onderlaag ABO

Voor het bezwijken van de onderlaag van een asfaltbekleding bestaan geen specifieke toetsregels: afhankelijk van het type onderlaag wordt daarvoor in § 3.4.5 van dit katern verwezen naar toetsregels elders in dit katern. In het algemeen wordt de sterkte voor dit spoor bepaald door de erosiebestendigheid en de laagdikte van de onderlagen. Een onderlaag van zandasfalt kan worden getoetst op Golfklap; daarvoor wordt verwezen naar § 3.3.4 van dit katern.

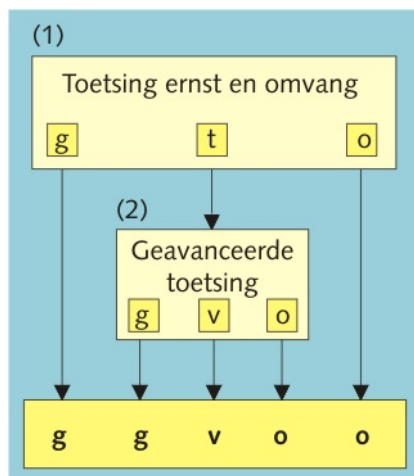
3.4 Beoordeling

3.4.1 Materiaaltransport AMT

De toetsing op dit spoor bestaat uit een visuele inspectie of zanduittreiding voorkomt of dat er gaten in de asfaltbekleding aanwezig zijn, veroorzaakt door schade en/of veroudering. Als gevolg van een slecht ontwerp of een slechte uitvoering van de onderliggende laag kan bij open steenasfalt kernmateriaal uittreden. Indien schade is opgetreden (scheur, gat of bezwijkende teen- of overgangsconstructie) kan bij open maar ook bij dichte asfaltbekledingen interne erosie plaats vinden.

De beoordeling op Materiaaltransport volgt het schema in Figuur 8 - 3.4. Materiaaltransport bij overgangsconstructies wordt apart behandeld in § 3.5 van dit katern.

Figuur 8 - 3.4
Beoordelingsschema Materiaaltransport AMT



Beoordelen van de inspectieresultaten

Voor de toetsing op Materiaaltransport zijn per schadeplek twee kenmerken van belang: ten eerste de ernst en ten tweede de omvang van de schade. Voor de bepaling van de ernst wordt in Tabel 8 - 3.2 een klasse-indeling gegeven. Deze klasse-indeling in combinatie met de omvang van de schade bepaalt het toetsresultaat.

De ernst van de aangetroffen schadebeelden is verdeeld in drie klassen, te weten: 'licht' (L), 'matig' (M) en 'ernstig' (E). Per schadebeeld worden aandachtspunten gegeven voor de bepaling van de ernst en omvang.

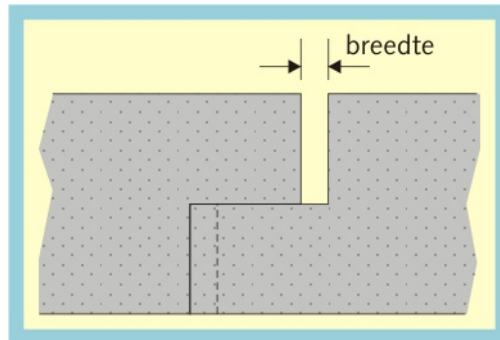
Scheuren

De ernst van de schade wordt uitgedrukt in de scheurbreedte, in mm. Als ondergrens wordt een praktische maat gehanteerd; scheuren met een scheurbreedte ≤ 3 mm (waarbij geen uittreding van zand of water kan worden geconstateerd) worden in de praktijk niet gerepareerd en worden daarom bij de toetsing ingedeeld in de klasse 'licht'. Tijdens de periodieke inspecties moet wel worden bijgehouden of deze scheuren verergeren. Doorgaande scheuren, scheuren met een breedte ≥ 10 mm en scheuren waar zanduittreiding plaatsvindt worden als 'ernstig' beoordeeld.

Openstaande naden

Als een naad open gaat staan, manifesteert de schade zich meestal op een wijze zoals weergegeven in Figuur 8 - 3.5. De beoordeling is vergelijkbaar met die van scheuren: openstaande naden met een breedte ≤ 3 mm (waarbij geen uittreding van zand of water kan worden geconstateerd) worden in de praktijk niet gerepareerd en worden daarom bij de toetsing ingedeeld in de klasse 'licht'. Doorgaande openstaande naden, naden met een breedte ≥ 10 mm en naden waar zanduittrekking plaatsvindt worden als 'ernstig' beoordeeld.

Figuur 8 - 3.5
Openstaande naad



Gaten

Gaten in de bekleding worden altijd ingedeeld in de klasse 'ernstig'. In aanvulling daarop mag zanduittrekking (uit gaten, doorgaande scheuren en geheel openstaande naden) nooit optreden. Wordt dit tijdens een inspectie aangetroffen dan wordt de betreffende schade altijd ingedeeld in de klasse 'ernstig'.

Begroeiing

Begroeiing is een veel voorkomend verschijnsel op asfaltbekledingen. Oppervlakkige en incidentele begroeiing zal het functioneren van de asfaltbekleding niet bedreigen. Als de begroeiing de samenhang van de bekleding bedreigt of tijdens een storm grote schade aan de asfaltbekleding kan veroorzaken, wordt begroeiing als 'ernstig' beoordeeld. Het gaat hierbij om rietbegroeiing op een aaneengesloten oppervlak van minimaal 5 m² en om houtvormende gewassen.

In Tabel 8 - 3.2 zijn de te hanteren normen samengevat, waarbij br staat voor de breedte van de scheur of naad. Zoals besproken zijn alle vier voor het spoor Materiaaltransport relevante schadebeelden van belang voor waterbouwasfaltbeton en zandasfalt, terwijl voor open steenasfalt en gepenetreerde breuksteen alleen de schadebeelden gaten met zanduittrekking en begroeiing van belang zijn.

Tabel 8 - 3.2
Klasse-indeling voor de ernst van de schade

Schadebeeld	Klasse voor de ernst van de schade		
	Licht (L)	Matig (M)	Ernstig (E)
Scheuren	br ≤ 3 mm	3 mm < br < 10 mm	<ul style="list-style-type: none"> • br ≥ 10 mm of; • doorgaande scheur of; • zanduittrekking uit scheur
Openstaande naden	br ≤ 3 mm	3 mm < br < 10 mm	<ul style="list-style-type: none"> • br ≥ 10 mm of; • doorgaande naad of; • zanduittrekking uit naad
Gaten	-	-	in alle gevallen
Begroeiing	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • rietbegroeiing (minimaal 5 m²); • houtvormende gewassen

Stap 1: Ernst en omvang

De toetsregels betreffen een combinatie van de ernst en de omvang van de schade. Als een schadebeeld zich plaatselijk in groten getale manifesteert, kan dit er op duiden dat de asfaltkwaliteit plaatselijk slecht is. Een dergelijke zwakke plek in de bekleding kan de veiligheid in gevaar brengen.

Met behulp Tabel 8 - 3.3 wordt oordeel verkregen over de ernst en omvang van de schade. Globaal geldt: geen schade of een lichte schade van beperkte omvang leidt tot een score 'goed'; ernstige schade (onafhankelijk van de omvang), of een matige schade met grote omvang, leidt tot een score 'onvoldoende'. In andere gevallen kan geen score worden toegekend op grond van Tabel 8 - 3.3. De beoordeling geldt per schadeplek. Bij vaststelling van de normen is het volgende als leidraad gebruikt:

- 'goed': De schade brengt de veiligheid duidelijk niet in gevaar.
- 'onvoldoende': De schade brengt de veiligheid waarneembaar in gevaar.
- geen score: Het is niet direct mogelijk te zeggen of de aangetroffen schade de veiligheid in gevaar brengt. Geavanceerde beoordeling (nader onderzoek) moet uitsluitend geven.

Tabel 8 - 3.3
Toetsingsregels voor ernst en omvang van de schade

Lengte van de scheur of naad	Klasse voor de ernst van de schade		
	Licht (L)	Matig (M)	Ernstig (E)
l ≤ 3 m	g	g	o
3 < l < 6 m	g	t	o
l ≥ 6 m	t	o	o

Als het schadebeeld gaten is geconstateerd, of als er sprake is van zanduittrekking, is de score direct 'onvoldoende', onafhankelijk van de omvang.

Stap 2: Geavanceerde toetsing Materiaaltransport (nadere beoordeling schade)

Als uit stap 1 voor de ernst en de omvang van één van de schadebeelden geen score volgt (t), is nadere beoordeling van de schade nodig. Er worden aandachtspunten gegeven voor het benodigde onderzoek voor de schadebeelden scheuren en openstaande naden.

Het onderzoek van scheuren en naden heeft ten doel de sterkte van de gescheurde constructie te beoordelen en de aard van de scheuren en naden vast te stellen. Het onderzoek wordt uitgevoerd als er beperkte matige of uitgebreide lichte schade in een dijksectie wordt geconstateerd, waardoor na stap 1 geen score mogelijk is voor de toetsing op Materiaaltransport.

Voor het onderzoek worden drie kernen (diameter 100 mm) geboord op plaatsen met de grootste scheur- of naadbreedte. Aan de kernen worden de laagdikte, de scheur- of naaddiepte en het breedteverloop gemeten.

Voor een score 'goed' moet worden voldaan aan twee eisen:

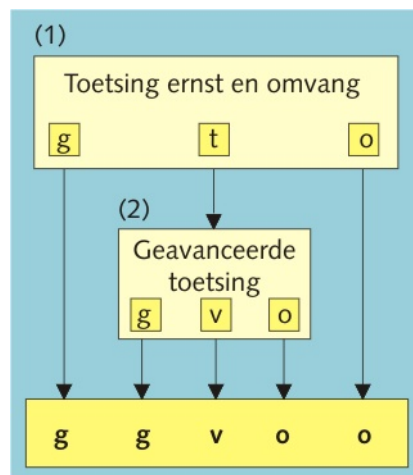
- de scheur of naad is niet doorgaand;
- de scheur- of naaddiepte is kleiner dan de helft van de oorspronkelijke laagdikte.

Een score 'onvoldoende' wordt dus toegekend als aan één van de twee voorwaarden niet wordt voldaan. Bij twijfel aan het oordeel kunnen meer dan drie kernen worden geboord.

3.4.2 Beoordeling ernstige schade AES

De toetsing op dit spoor bestaat uit een visuele inspectie of zanduittrekking voorkomt of dat er gaten in de asfaltbekleding aanwezig zijn, veroorzaakt door schade en/of veroudering. De toetsing is beperkt tot ernstige schade die ten gevolge van golfploop kan leiden tot uitspoeling van onderliggend materiaal. De beoordeling op Ernstige Schade volgt het schema in Figuur 8 - 3.6.

Figuur 8 - 3.6
Beoordelingsschema Beoordeling Ernstige Schade AES



Stap 1: Beoordeling ernstige schade

De toetsregels betreffen het beoordelen van de aangetroffen schade. De bekleding krijgt de tussenscore 'twijfelachtig' indien één of meer van de volgende schadebeelden zijn aangetroffen:

- Zichtbaar doorgaande scheur met een breedte van minimaal 10 mm en een lengte van minimaal 1 m of;

- Volledig openstaande naad met een breedte van minimaal 10 mm en een lengte van minimaal 1 m of;
- Gat in de bekleding van minimaal 100x100 mm of;
- Begroeiing door de bekleding van houtvormende gewassen.

Is geen van de bovenstaande schades op de bekleding aangetroffen dan is de eindscore 'goed'. Is er tijdens de inspectie geconstateerd dat er onder de schade een intacte erosiebestendige onderlaag zoals een geotextiel of zandasfalt aanwezig is, dan is de eindscore eveneens 'goed', uitgezonderd de aanwezigheid van houtvormende gewassen op de bekleding.

Stap 2: Geavanceerde toetsing (nadere beoordeling schade)

Als uit stap 1 voor de ernst en de omvang van één van de schadebeelden een tussenscore 'twijfelachtig' volgt, is nadere beoordeling van de schade nodig. Hiervoor kan contact worden opgenomen met daartoe gespecialiseerde bureaus. Vanwege de hoge kosten van een geavanceerde toetsing is reparatie van de aangetroffen schade doorgaans de beste keuze om tot de eindscore goed te komen.

3.4.3 Golfklap AGK

De beoordeling op dit mechanisme volgt het schema in Figuur 8 - 3.7. De beoordeling bestaat uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte enerzijds en de benodigde laagdikte anderzijds. De bepaling van de aanwezige laagdikte en de asfaltkwaliteit is behandeld in § 3.3.4 van dit katern. Voor de bepaling van de benodigde laagdikte bestaan twee uitgewerkte methodes (eenvoudige en gedetailleerde methode), en daarna is eventueel geavanceerde toetsing mogelijk. Stap 1 van de toetsing bestaat uit een visuele inspectie en een beoordeling op het schadebeeld aangetast oppervlak. Als de resultaten hiervan daartoe aanleiding geven moet direct een geavanceerde toetsing (stap 5) worden uitgevoerd waarbij de breuksterkte, vermoeiingssterkte en stijfheid in het laboratorium worden bepaald. Stap 2 van de toetsing bestaat uit een controle of de eenvoudige methode kan worden toegepast; zo nee, dan moet direct de gedetailleerde methode worden gebruikt. Stap 3 en stap 4 zijn respectievelijk de eenvoudige en de gedetailleerde rekenmethode. Als uit stap 3 en 4 geen eindscore volgt, is geavanceerde toetsing nodig (stap 5). De beoordeling wordt per stap beschreven.

Stap 1: Beoordeling aangetast oppervlak

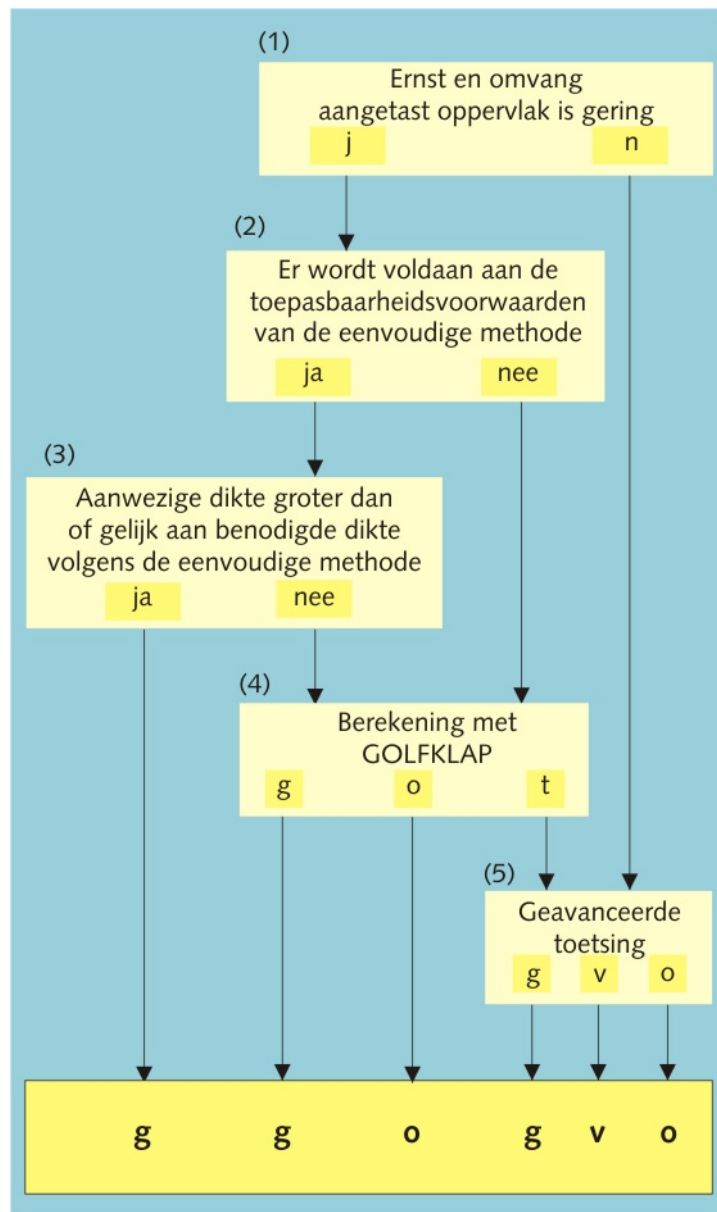
Al in dit stadium van de toetsing is het nodig om een visuele inspectie uit te voeren. Alleen als uit de toetsing van de ernst en omvang van de schade blijkt dat de aantasting van het oppervlak gering is, kan de eenvoudige methode worden toegepast. Is dit niet het geval, dan moet een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd.

De toetsing in stap 2 en 3 is gebaseerd op representatieve waarden voor de parameters van de aanwezige bekledingen. Voor een score 'goed' na stap 2 of 3 is het noodzakelijk om vooraf door middel van visuele inspectie na te gaan of het schadebeeld 'aangetast oppervlak' aanleiding geeft tot nader onderzoek. Als het asfalt over een groter oppervlak is aangetast moet een geavanceerde toetsing (stap 5) worden uitgevoerd.

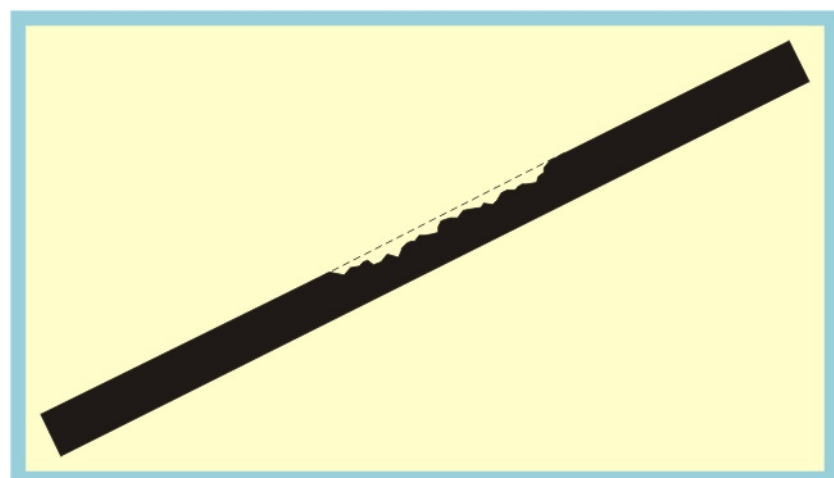
Het schadebeeld 'aangetast oppervlak' komt niet op grote schaal voor bij bekledingen van type 7: gepenetreerde breuksteen. Voor dit type bekledingen is deze stap dus niet relevant en kan de toetsing direct worden voortgezet met stap 2.

Het schadebeeld 'aangetast oppervlak' betekent het verdwijnen van steentjes en asfalmortel uit de bekleding. (zie Figuur 8 - 3.8).

Figuur 8 - 3.7
Beoordelingsschema Golfklap AGK



Figuur 8 - 3.8
Aangetast oppervlak



Indien er sprake is van aangetast oppervlak moet worden nagegaan of dit zodanig ernstig is dat dit aanleiding geeft tot nader onderzoek. De te hanteren normen voor ernst van het schadebeeld aangetast oppervlak zijn:

- licht: enkele steentjes uit de bekleding verdwenen;
- matig: 1 steenlaag of meer uit de bekleding verdwenen Het volledig verdwijnen van delen van de oppervlakbehandeling valt hier ook onder. Het gelijkmatig afslijten van de oppervlakbehandeling wordt niet relevant geacht voor het schadebeeld aangetast oppervlak.

Per vak met een lengte van 100 m wordt de bekleding getoetst met de volgende matrix op basis van de ernst en de omvang (A):

Tabel 8-34
Bepaling of de ernst en omvang van het aangetast oppervlak gering is

Omvang aangetast oppervlak A (m ²)	Licht	Matig
A < 1	j	j
1 < A < 5	j	n
A > 5	n	n

Alleen als de ernst en omvang van het aangetast oppervlak gering is ('j' in de tabel), kan de toetsing worden voortgezet met stap 2. Zo niet ('n' in de tabel), dan moet een geavanceerde toetsing (stap 5) worden uitgevoerd.

Stap 2: Toepasbaarheidsvoorwaarden Eenvoudige methode

De Eenvoudige methode van stap 3 mag alleen worden toegepast in de omstandigheden waarvoor de rekenregels zijn afgeleid. Er moet aan vier soorten voorwaarden worden voldaan:

- type asfaltbekleding;
- staat van de bekleding;
- gemiddelde mengselsamenstelling;
- veroudering.

Alleen als aan alle gestelde voorwaarden wordt voldaan, kan de Eenvoudige methode van stap 3 worden toegepast. Als aan één van de voorwaarden niet wordt voldaan, wordt de toetsing direct voortgezet met de gedetailleerde methode van stap 4.

Type asfaltbekleding

De Eenvoudige methode is niet toepasbaar voor bovenlagen van zandafalt (type 6); daarvoor is in alle gevallen gedetailleerde toetsing nodig. Voor bekledingen van gepenetreerde breuksteen (type 7) daarentegen zijn de overige toepassingsvoorwaarden niet relevant: deze kunnen altijd met de Eenvoudige methode worden getoetst.

Gemiddelde mengselsamenstelling

De Eenvoudige methode is alleen toepasbaar als de gemiddelde mengselsamenstelling van de asfaltbekleding binnen bepaalde grenzen ligt. Als het mengsel niet voldoet aan de gestelde eisen, zijn de mechanische eigenschappen anders dan wordt aangenomen voor de Eenvoudige methode. In dat geval moet de gedetailleerde methode worden toegepast, waarin de mechanische eigenschappen worden bepaald en expliciet gebruikt in de berekening. De toepassingsgrenzen worden gegeven voor waterbouwasfaltbeton (type 1) en voor open steenasfalt (types 4 en 5).

Onder waterbouwasfaltbeton wordt verstaan: een warm-bereid mengsel van steenslag of grind, zand, vulstof en bitumen. De samenstelling van waterbouwasfaltbeton moet liggen tussen de grenzen zoals aangegeven in Tabel 8 - 3.5. De grenzen voor bitumen gelden voor het gehalte ten opzichte van 100% mineraal aggregaat (het totaal van steenslag/grind, zand en vulstof).

Tabel 8 - 3.5
Samenstellingseisen waterbouwasfaltbeton

Materiaal	Fractie	Massapercentage	
		Minimaal	Maximaal
Steenslag/Grind	> 2 mm	40	55
Zand	< 2mm en > 63 µm	35	50
Vulstof	< 63 µm	6	10
Bitumen	-	6	8

Onder open steenasfalt wordt verstaan: een warm-bereid mengsel van steenslag of grind, zand, vulstof en bitumen. De samenstelling van open steenasfalt moet liggen tussen de grenzen zoals aangegeven in Tabel 8 - 3.6. Er gelden aparte grenzen voor de verhouding tussen steenslag/grind en mortel en voor de verhouding binnen de mortel tussen zand, vulstof en bitumen. De grenzen voor de mortel zijn het massapercentage binnen de mortel, dus zonder de fractie steenslag/grind. De grenzen voor bitumen gelden voor het gehalte ten opzichte van 100% mortel.

Tabel 8 - 3.6
Samenstellingseisen open steenasfalt

Materiaal	Fractie	Massapercentage	
		Minimaal	Maximaal
Steenslag/Grind	> 2 mm	75	85
Mortel	< 2mm	15	25
Mortel Zand	< 2mm en > 63 µm	60	75
Mortel Vulstof	< 63 µm	10	25
Mortel Bitumen	-	16	20

Vanaf de RAW-Standaard 2000 wordt de mengselsamenstelling op een andere manier beschreven. Als dat het geval is voor de te toetsen bekleding, is het voor de toetsing nodig om de samenstelling terug te rekenen naar het hier gegeven formaat.

Veroudering

De Eenvoudige methode is alleen toepasbaar als de bekleding niet te sterk is verouderd. De mate van veroudering hangt niet alleen af van de leeftijd maar ook van materiaaleigenschappen. Bij verouderde bekledingen zijn de mechanische eigenschappen anders dan wordt aangenomen voor de Eenvoudige methode. In dat geval moet de gedetailleerde methode worden toegepast, waarin de mechanische eigenschappen worden bepaald en expliciet gebruikt in de berekening. Voor waterbouwasfaltbeton (type 1) en voor open steenasfalt (types 4 en 5) wordt aangegeven bij welke combinatie van leeftijd en materiaaleigenschappen de Eenvoudige methode toepasbaar is. De leeftijd van de asfaltbekleding moet worden gerekend vanaf de opleverdatum van het werk tot aan de peildatum van de toetsing. De grenswaarden voor de materiaaleigenschappen in de eerste kolom van Tabel 8 - 3.7 en Tabel 8 - 3.8 zijn afgestemd op het feit dat de waarden voor de holle ruimte en het mortelgehalte volgens de RAW-standaard [35] altijd op één decimaal worden afgerond.

Bij waterbouwasfaltbeton wordt de mate van veroudering vooral bepaald door twee factoren, namelijk: de leeftijd en de holle ruimte in het asfalt. Hoe lager het percentage holle ruimte, hoe langer het duurt voordat de kwaliteit van het asfalt meetbaar verandert. In Tabel 8 - 3.7 is aangegeven bij welke combinaties van leeftijd en holle ruimte de Eenvoudige methode toepasbaar is (stap 3) en bij welke combinaties direct gedetailleerde toetsing nodig is (stap 4).

Tabel 8 - 3.7

Toepasbaarheidseisen t.a.v. veroudering bij waterbouwasfaltbeton

Gemiddelde holle ruimte per werk [%]	Leeftijd [jaren]			
	0 - 10	11 - 20	21 - 30	> 30
0 - 5,4	3	3	3	4
5,5 - 10,4	3	3	4	4
> 10,4	3	4	4	4

Open steenasfalt heeft in verband met de specifieke mengsamenstelling een hoge holle ruimte. Als indicator voor de kwaliteit wordt bij open steenasfalt daarom niet de holle ruimte, maar de hoeveelheid asfalmortel gebruikt, omdat dit bepaalt hoe dik en duurzaam de stenen zijn omhuld. In Tabel 8 - 3.8 is aangegeven bij welke combinaties van leeftijd en mortelpercentage de Eenvoudige methode toepasbaar is (stap 3) en bij welke combinaties direct gedetailleerde toetsing nodig is (stap 4).

Tabel 8 - 3.8

Toepasbaarheidseisen t.a.v. veroudering bij open steenasfalt

Negatieve afwijking t.o.v. bij aanleg overeengekomen mortelgehalte [massapercentage]	Leeftijd [jaren]				
	0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	> 20
0 - 0,5	3	3	3	3	4
0,6 - 1,0	3	3	3	4	4
1,1 - 1,5	3	3	4	4	4
1,6 - 2,0	3	4	4	4	4
> 2,0	3	3	3	3	3

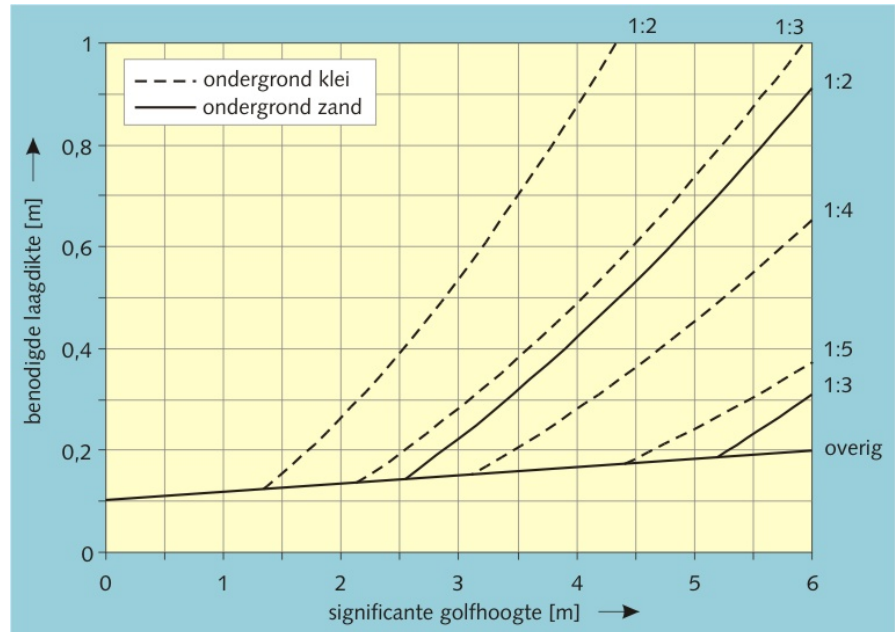
Stap 3: Eenvoudige methode

De eenvoudige toetsing bestaat uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte en de vereiste laagdikte, waarbij de vereiste laagdikte afhankelijk is van het type, de ondergrond, de taludhelling en de significante golfhoogte H_s . Als de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte groter is dan de vereiste laagdikte, is de eindscore voor het spoor Golfklap 'goed'. Voor waterbouwasfaltbeton en voor open steenasfalt is de rekenmethode conservatief; voor die types kan in deze stap daarom geen eindscore 'onvoldoende' worden gegeven: als de aanwezige laagdikte kleiner is dan de vereiste laagdikte, is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met de gedetailleerde toetsing in stap 4. Voor gepenetreerde breuksteen bestaat geen gedetailleerde methode: voor dat type is direct geavanceerde toetsing (stap 5) nodig als de aanwezige laagdikte kleiner is dan de berekende vereiste laagdikte.

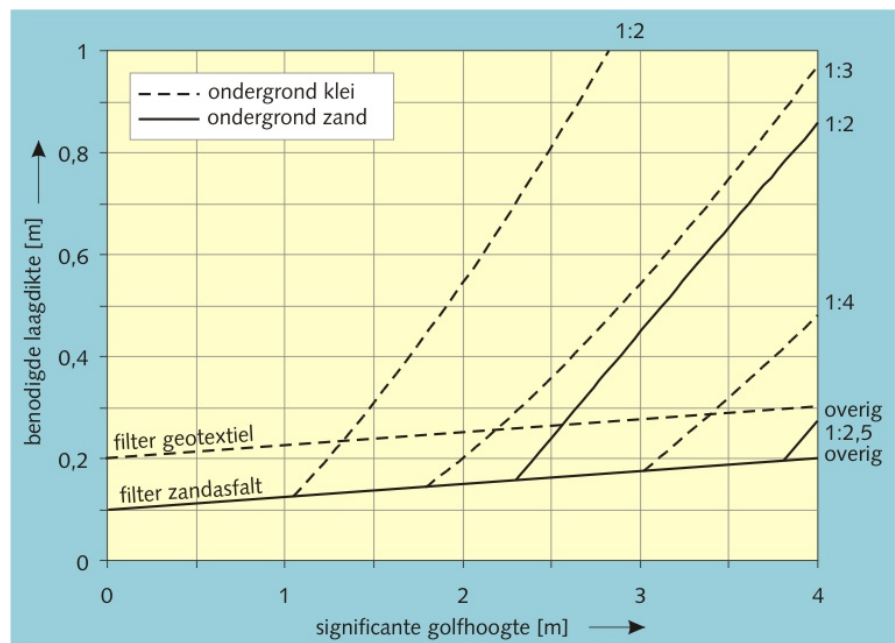
Voor de aanwezige laagdikte wordt in deze stap in principe gerekend met de representatieve waarden volgens 3.3.4 van dit katern. Bij het asfalttype open steenasfalt kan een geleidelijke erosie plaatsvinden wat leidt tot een gereduceerde laagdikte. In dit geval moet de toetsing worden uitgevoerd met de gereduceerde laagdikte.

De benodigde laagdikte bij toetsen op het spoor Golfklap wordt bepaald met de grafieken uit Figuur 8 - 3.9 (waterbouwasfaltbeton), Figuur 8 - 3.10 (open steenasfalt) of Figuur 8 - 3.11 (gepenetreerde breuksteen). Voor afwijkende waarden van de taludhelling kan lineair worden geïnterpoleerd tussen de gegeven lijnen. Voor gepenetreerde breuksteen op zand zijn in Figuur 8 - 3.11 alleen lijnen voor 'taludhelling 1:2' en 'overig' gegeven; ten behoeve van de interpolatie kan de lijn 'overig' in die figuur worden toegepast alsof die hoort bij een helling van 1:2,5.

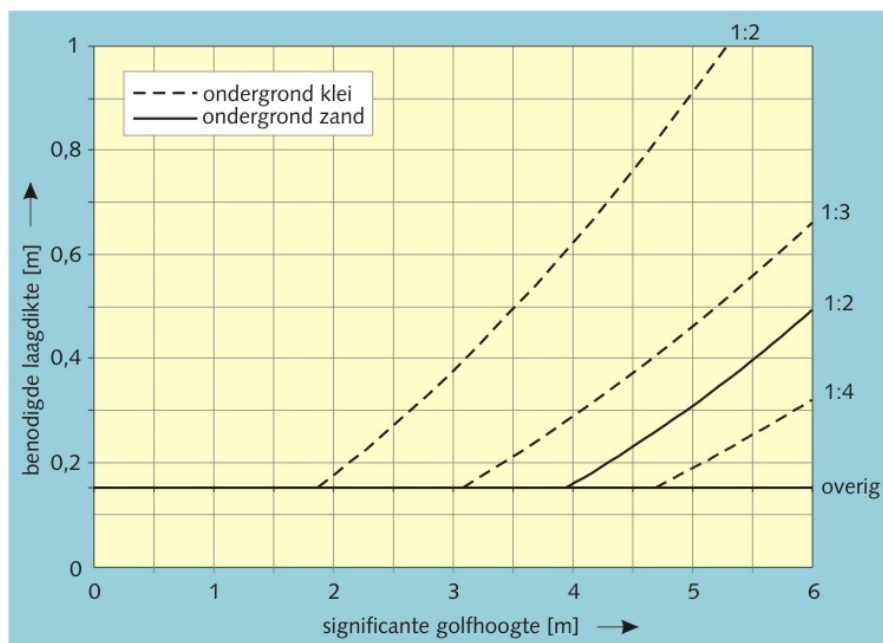
Figuur 8 - 3.9
Eenvoudige methode: benodigde dikte waterbouwasfaltbeton



Figuur 8 - 3.10
Eenvoudige methode: benodigde dikte open steenasfalt



Figuur 8 - 3.11
Eenvoudige methode: benodigde dikte
gepenetreerde breuksteen



Als bekend is dat de bovenlaag van asfalt direct op een onderlaag van slecht verdicht zand ligt, moet bij de toetsing in deze stap gebruik worden gemaakt van de lijntjes voor een klei-ondergrond.

Als de aanwezige laagdikte groter of gelijk is aan de benodigde laagdikte is de score 'goed'. Dit is tevens de eindscore. Is dit niet het geval, dan moet de toetsing worden voortgezet met stap 4.

Asfaltbekledingen op een berm moeten in deze stap als volgt worden getoetst: ten aanzien van de bekledingseigenschappen worden de werkelijk op de berm aanwezige waarden gebruikt, maar voor de taludhelling en de golfbelasting worden de waarden gebruikt van het talud onder de berm. Ook voor dit geval is de tussenscore 'twijfelachtig' als de aanwezige dikte kleiner is dan de berekende benodigde dikte en wordt de toetsing voortgezet met stap 4.

Stap 4: Rekenmodel GOLFKLAP (gedetailleerd)

Als de Eenvoudige methode van stap 3 niet toepasbaar is, of als met de Eenvoudige methode niet kan worden aangetoond dat de aanwezige laagdikte volstaat, is toetsing met de gedetailleerde methode nodig. Voor bekledingen van gepenetreerde breuksteen (type 7) kan stap 4 niet worden toegepast en is in dat geval direct geavanceerde toetsing nodig.

De gedetailleerde toetsing wordt uitgevoerd met het rekenmodel GOLFKLAP. In § 3.2.4 en § 3.3.4 van dit katern is behandeld welke invoerparameters nodig zijn en hoe die kunnen worden bepaald: het betreft de laagdikte, de beddingsconstante van de ondergrond, E-modulus, de sterkte en de hydraulische randvoorwaarden. Van alle materiaaleigenschappen worden veilige karakteristieke waarden bepaald.

Het GOLFKLAP-rekenmodel berekent of de laag bestand is tegen de schade als gevolg van de golfklapbelasting. De schade wordt uitgedrukt in de zogenaamde Minersom. Dit getal is de som van de relatieve schade, die elke golfklap op het materiaal teweegbrengt. Is dit getal groter dan 1 dan is de belasting groter dan de asfaltlaag kan weerstaan en zal het asfalt scheuren.

De toetsregel in deze stap is als volgt:

- de score is 'goed' bij: $\text{Minersom} < 1$;
- de score is 'twijfelachtig' bij: $1 \leq \text{Minersom} \leq 5$;
- de score is 'onvoldoende' bij: $\text{Minersom} > 5$.

Bij een score 'goed' is dit tevens direct de eindscore. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing nodig (stap 5). Een score 'onvoldoende' in deze stap geldt eveneens direct als eindscore.

Er zijn enkele gevallen die speciale aandacht behoeven:

- ten aanzien van asfaltbekledingen op een berm is de werkwijze hetzelfde als voor de Eenvoudige methode in stap 3: ten aanzien van de bekledingseigenschappen worden de werkelijk op de berm aanwezige waarden gebruikt, maar voor de taludhelling en de golfbelasting worden de waarden gebruikt van het talud onder de berm. Het vervolg van de toetsing is hetzelfde als voor asfaltbekledingen op een talud;
- ten aanzien van samengestelde lagen (bijvoorbeeld een toplaag van open steenasfalt op een onderlaag van zandafalt) wordt in een gedetailleerde toetsing in eerste instantie alleen gerekend met de toplaag. Als hieruit geen score 'goed' volgt, is het mogelijk om de samengestelde laag door te rekenen met het rekenmodel GOLFKLAP. Hiervoor is specialistische hulp nodig.

Stap 5: Geavanceerde toetsing golfklap

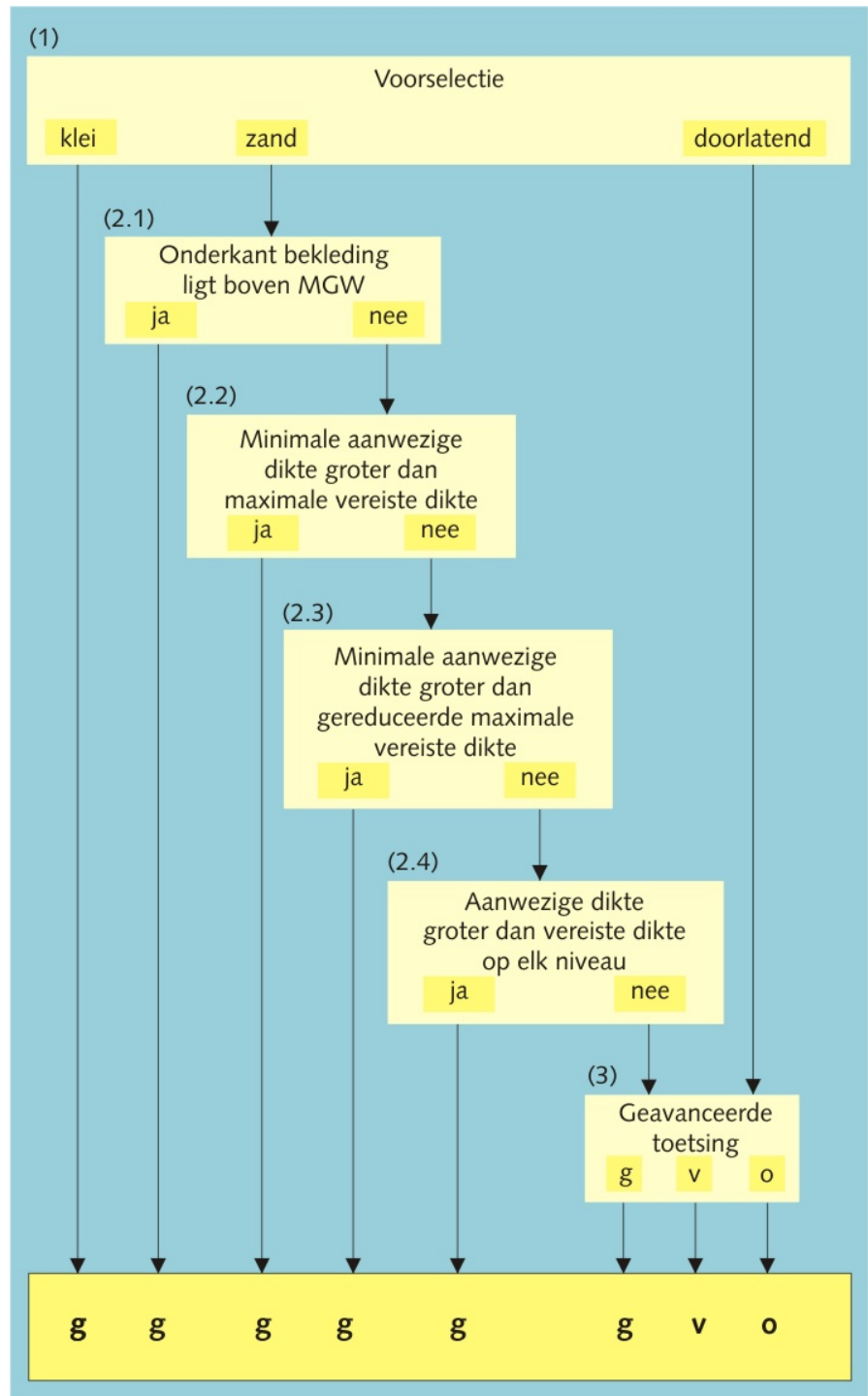
Als met het rekenmodel GOLFKLAP in de gedetailleerde toetsing niet kan worden aangetoond dat de aanwezige laagdikte volstaat, is geavanceerde toetsing nodig. Hiervoor moet contact worden opgenomen met specialisten. De nadruk zal in het algemeen liggen bij gegevensverzameling, waarbij ook geavanceerde meetmethodes kunnen worden gebruikt. De belangrijkste parameters in dit stadium zijn de sterkte (vermoeiingssterkte en breuksterkte), de stijfheid en de laagdikte van de bovenlaag en de beddingsconstante van de ondergrond. Ook een faalkansanalyse kan onderdeel uitmaken van een geavanceerde toetsing. Bij een faalkansanalyse wordt op basis van de spreiding in de relevante materiaalparameters een overschrijdingskans van de Minersom bij een gegeven belastingniveau bepaald.

Als stap 5 wordt bereikt als gevolg van geconstateerde aantasting van het oppervlak (stap 1) ligt het voor de hand om de aantasting van het oppervlak nader te bestuderen. Het onderzoek van de aantasting heeft ten doel de eigenschappen van het bekledingsmateriaal ter plaatse van de aantasting te bepalen. Op basis van deze actuele bepaling van het mechanisch materiaalgedrag (de eigenschappen) op een bepaalde aangetaste locatie is de bekleding op de meest nauwkeurige manier te beoordelen op Golfklap. Het onderzoek kan ook informatie opleveren over de oorzaak van de geconstateerde aantasting. De oorzaak van de aantasting is een relevant gegeven omdat er een verschil tussen de verwachte en aangetroffen situatie is.

3.4.4 Wateroverdruk AWO

De beoordeling op dit mechanisme volgt het schema in Figuur 8 - 3.12. Net als bij het spoor Golfklap bestaat de beoordeling uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte enerzijds en de benodigde laagdikte anderzijds. De bepaling van de aanwezige laagdikte is behandeld in § 3.3.5. Stap 1 van de toetsing is een voorselectie op basis van de ondergrond van de bekleding, leidend tot een directe eindscore 'goed' of tot een uitspraak over de toepasbaarheid van de eenvoudige methode. Stap 2 is de eenvoudige methode, opgedeeld in vier deelstappen, waarin steeds meer gevallen worden uitgeselecteerd. Stap 3 is geavanceerde toetsing; hieruit volgt in alle gevallen een eindscore 'goed' of 'onvoldoende'. De beoordeling wordt per stap beschreven.

Figuur 8 - 3.12
Beoordelingsschema Wateroverdruk AWO



Stap 1: Voorselectie

Voor asfaltbekledingen die direct op een kleikern liggen zijn de optredende wateroverdrukken in het algemeen laag omdat de freatische lijn in het grondlichaam nauwelijks stijgt. Bij kortdurende hydraulische belastingen zoals een hoogwater bij zeedijken wordt de ondergrond als ondoorlatend beschouwd. Wateroverdruk is dan geen relevant faalmechanisme en de eindscore is direct 'goed'.

Voor andere bekledingen moet worden bepaald of de eenvoudige methode van stap 2 toepasbaar is; zo nee, dan is de geavanceerde toetsing van stap 3 nodig. Er worden drie gevallen onderscheiden:

- De meeste asfaltbekledingen zijn aangelegd op een ondergrond van zand, en voor deze situatie is de eenvoudige methode afgeleid. Voor asfaltbekledingen op zand wordt de toetsing dus voortgezet met stap 2.
- Als onder de bekleding een kleilaag van beperkte dikte aanwezig is, wordt ervan uitgegaan dat de wateroverdrukken tegen de onderzijde van de kleilaag zullen optreden. Als onder de kleilaag een kern van zand ligt, is de eenvoudige methode van stap 2 toepasbaar; in dit geval mag de kleilaag als deel van de bekleding worden meegerekend in de toetsing.
- Als de ondergrond van het asfalt doorlatender is dan zand, bijvoorbeeld als gevolg van een doorlatende mijnsteenkade onder de bekleding, kan de optredende wateroverdruk groter zijn. Ook de aanwezigheid van ondoorlatende lagen in de ondiepe ondergrond zorgen voor grotere wateroverdrukken onder de bekleding. In deze gevallen is de eenvoudige toetsing niet toepasbaar en dient een geavanceerde toetsing op wateroverdrukken te worden uitgevoerd (stap 3).

In principe kan deze voorselectie worden uitgevoerd op basis van de beschikbare informatie over het type ondergrond. Als er twijfel bestaat over het type, kan de voorselectie worden gedaan op basis van gemeten doorlatendheden van de ondergrond. Daarbij gelden de volgende grenswaarden voor de doorlatendheid k :

- $k < 1.10^{-6}$ m/s: ondergrond functioneert als klei; het vervolg van de toetsing hangt ervan af of het een kleikern betreft (direct score 'goed' of doorgaan met stap 2).
- k tussen 1.10^{-4} m/s en 1.10^{-6} m/s: ondergrond functioneert als zand, de eenvoudige methode is toepasbaar.
- k groter dan 1.10^{-4} m/s: te grote doorlatendheid voor de eenvoudige methode, geavanceerde toetsing nodig.

De invloed van de doorlatendheid op de wateroverdrukken is mede afhankelijk van de duur van het hoogwater. Meer informatie hierover is gegeven in het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren [24].

Stap 2: Eenvoudige toetsing Wateroverdruk

De hier gegeven eenvoudige methode voor toetsing van een gesloten bekleding op Wateroverdruk is beschreven in het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren [24]. De methode bestaat uit een vergelijking tussen de aanwezige laagdikte en de vereiste laagdikte, waarbij de vereiste laagdikte afhankelijk is van de dichtheid, de taludhelling en het niveauverschil tussen de maatgevende grondwaterstand en de onderkant van de gesloten bekleding.

De eenvoudige methode is opgedeeld in een aantal deelstappen. Per deelstap nemen de benodigde gegevens en de benodigde toetsinspanning toe, waardoor een steeds groter aantal gevallen als 'goed' kan worden beoordeeld. Een score 'onvoldoende' is in stap 2 niet mogelijk. In stap 2.1 wordt de maatgevende grondwaterstand bepaald; hieruit volgt ook of de betreffende asfaltbekleding wordt belast op wateroverdruk. In stap 2.2 wordt bekeken welke laagdikte nodig is op het zwaarst belaste punt; als deze laagdikte in de gehele doorsnede minimaal aanwezig is, wordt een score 'goed' gegeven. Als dat niet het geval is, kan in stap 2.3 een reductiefactor in rekening worden gebracht voor gevallen met een lage maatgevende buitenwaterstand. Als daaruit geen score 'goed' volgt, kan het verloop van de vereiste laagdikte in de dwarsdoorsnede worden bepaald en vergeleken met de werkelijk aanwezige laagdikte (stap 2.4). Hieruit volgt een eindscore 'goed' of een tussenscore 'twijfelachtig'. Omdat de eenvoudige methode conservatief is, kan in stap 2 geen eindscore 'onvoldoende' worden gegeven: als de laagdikte kleiner is dan vereist, is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met de geavanceerde toetsing in stap 3.

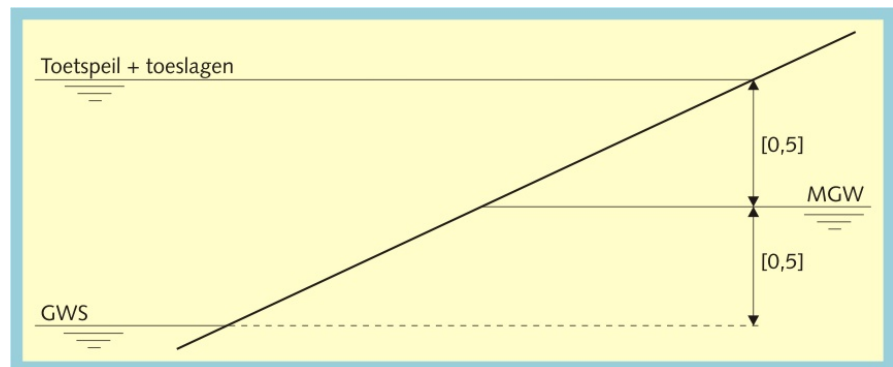
Stap 2.1: Maatgevende grondwaterstand en voorselectie

Tijdens hoogwater loopt de grondwaterstand in het dijklichaam op. Als de buitenwaterstand vervolgens snel daalt, dan is de grondwaterstand niet altijd in staat de buitenwaterstand te volgen. Als er een gesloten dijkbekleding op het buitentalud aanwezig is, ontstaat er een wateroverdruk onder de bekleding. De grootte van de wateroverdruk is onder meer afhankelijk van het waterstandsverloop, de doorlatendheid van het dijklichaam en de ondergrond en de mate waarin het grondwater kan afstromen. Hoe trager een hoog opgelopen grondwaterstand bij een dalende buitenwaterstand terugloopt, des te groter kan de wateroverdruk onder de bekleding worden. Maatgevend is de combinatie van waterstanden waarbij de buitenwaterstand ongeveer halverwege de grondwaterstand en de onderkant van de gesloten bekleding ligt.

Het niveau van de grondwaterstand wordt voor zee-, rivier- en meerdijken anders ingeschat omdat het verloop van het hoogwater bij elk van de watersystemen anders is. Een veilige inschatting van de maatgevende grondwaterstand in het dijklichaam kan worden gemaakt zoals aangegeven in Figuur 8 - 3.13, Figuur 8 - 3.14 en Figuur 8 - 3.15.

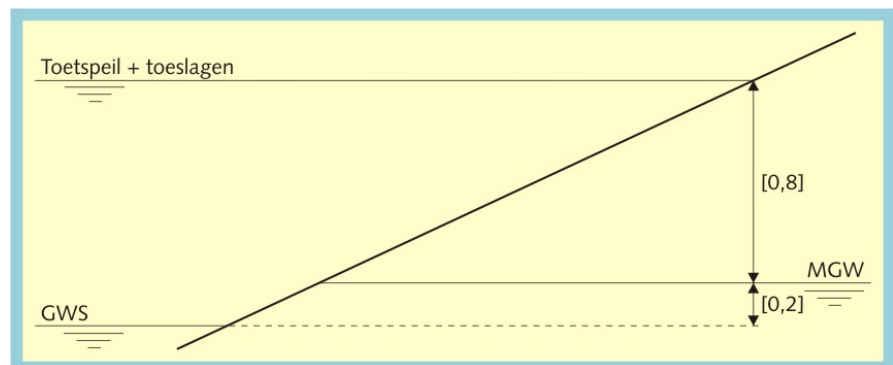
Figuur 8 - 3.13

Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij zeedijken



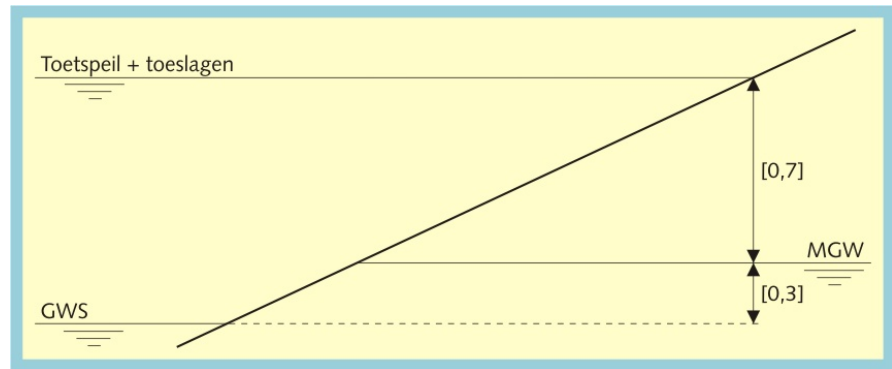
Figuur 8 - 3.14

Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij meerdijken



Figuur 8 - 3.15

Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij rivierdijken



waarin:

- GWS = gemiddelde waterstand. Voor zeedijken is de [m NAP]
 gemiddelde waterstand bij benadering gelijk aan NAP,
 voor rivierdijken wordt het winterpeil aangehouden en
 voor meerdijken het winterstreefpeil.
- MGW = maatgevende grondwaterstand [m NAP]

De hiermee bepaalde maatgevende grondwaterstand is nodig voor de berekening in de verdere toetsing, maar dient ook voor de beantwoording van de vraag of de beschouwde asfaltbekleding wordt belast op Wateroverdruk (zie ook § 3.1.2 en § 3.2.5 van dit katern). De toetsregel van stap 2.1 is als volgt: de eindscore is 'goed' als de onderkant van de gesloten bekleding hoger ligt dan de maatgevende grondwaterstand. Als de onderkant lager ligt dan de maatgevende grondwaterstand wordt de toetsing voortgezet met stap 2.2.

Stap 2.2: Toetsing met maximaal vereiste laagdikte

De maximaal vereiste laagdikte in de zone waarin wateroverdrukken optreden, wordt bepaald met de volgende formule:

$$d_{v,max} = 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w}$$

waarin:

- $d_{v,max}$ = benodigde laagdikte [m]
 Q_n = factor, afhankelijk van de taludhelling [-]
 z = verschil tussen MGW en onderzijde gesloten bekleding [m]
 ρ_w = dichtheid water [kg/m³]
 ρ_a = dichtheid bekleding [kg/m³]

De parameters Q_n en z worden nader toegelicht.

Factor voor de taludhelling Q_n

De taludhelling van de asfaltbekleding (α) beïnvloedt de weerstand tegen wateroverdruk: hoe steiler de helling, hoe groter de benodigde laagdikte. Voor de factor Q_n geldt de volgende uitdrukking:

$$Q_n = \frac{0,96}{\cos(\alpha)^{1,4}}$$

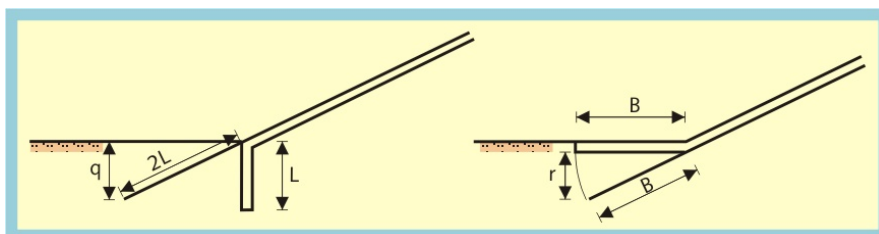
Verskil tussen MGW en onderzijde gesloten bekleding z

De grootte van de maximaal aanwezige waterdruk wordt bepaald door het verschil tussen MGW en de onderzijde van de gesloten bekleding. Daarbij moet echter wel rekening worden gehouden met de invloed van een eventueel aanwezige waterdichte teenconstructie. Een teenconstructie in de vorm van een palenrij wordt niet beschouwd als waterdicht.

De aard en de vorm van de teenconstructie beïnvloeden de grootte van de wateroverdruk. Een open teenconstructie bevordert het afstromen van het water uit het dijklichaam terwijl een gesloten teenbescherming of een damwand het afstromen bemoeilijkt. Als er een gesloten teenbescherming of damwand aanwezig is moet de invloed hiervan worden meegenomen bij het bepalen van de benodigde laagdikte. Daarvoor moet de waarde van het verschil z worden verhoogd: z is gelijk aan het hoogteverschil tussen MGW en de onderzijde van de gesloten bekleding, plus een waarde q voor een damwand of een waarde r voor een gesloten teenbescherming. De waarde van r en q zijn weergegeven in Figuur 8 - 3.16. L is de diepte van de gesloten damwand ten opzichte van de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding; B is de breedte van de gesloten teenbescherming, gerekend vanaf de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding.

Figuur 8 - 3.16

Invloed van een damwand en een gesloten teenbescherming



Als de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte in het gehele dwarsprofiel groter is dan de berekende vereiste waarde $d_{v,max}$, is de score op Wateroverdruk 'goed'. Met andere woorden: de minimale aanwezige laagdikte (d_{min}) moet groter zijn dan de maximale vereiste laagdikte ($d_{v,max}$). Als dat niet het geval is, geldt een tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 2.3.

Stap 2.3: Toetsing met reductiefactor voor hoge buitenwaterstand

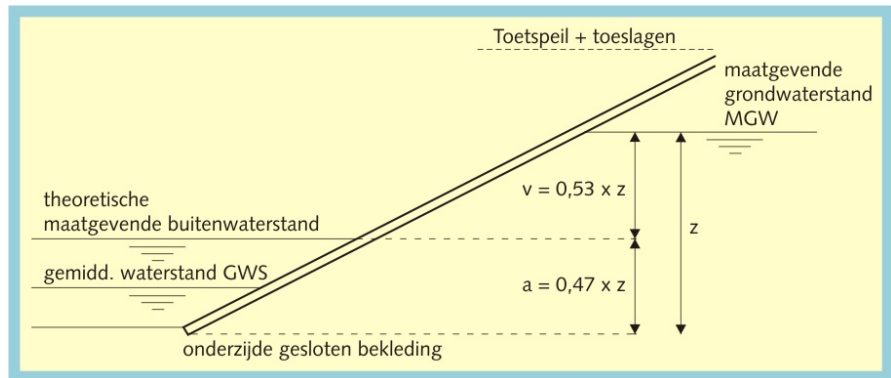
In de toetsingsregel van stap 2.2 is uitgegaan van de aanname dat de theoretische maatgevende buitenwaterstand hoger ligt dan de gemiddelde waterstand. Als deze theoretische waarde echter lager ligt dan de gemiddelde waterstand, is de vereiste laagdikte kleiner dan berekend in stap 2.2.

Om dit te bepalen wordt eerst de ligging van de theoretische maatgevende buitenwaterstand besproken. Vervolgens wordt besproken hoe groot de reductie is en hoe deze in rekening kan worden gebracht.

Voor het bepalen van de theoretische maatgevende buitenwaterstand wordt de situatie geschematiseerd zoals aangegeven in Figuur 8 - 3.17.

Figuur 8 - 3.17

Theoretische maatgevende buitenwaterstand bij lage gemiddelde waterstand



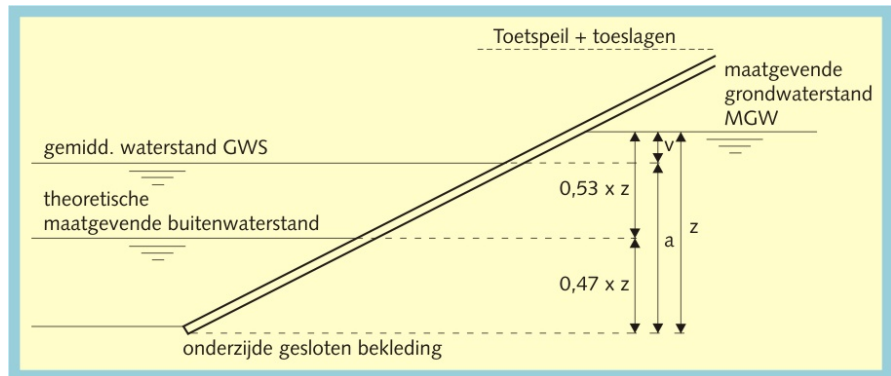
waarin:

- a = de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand [m]
- v = de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand [m]

De aanwezigheid van een damwand of een gesloten teenbescherming beïnvloedt ook de ligging van de theoretische maatgevende buitenwaterstand omdat de fictieve onderkant van de bekleding op een ander niveau komt te liggen. In geval van een damwand of een gesloten teenbescherming moet dus ook bij het bepalen van de theoretische maatgevende buitenwaterstand rekening worden gehouden met de parameters q en r .

Figuur 8 - 3.18

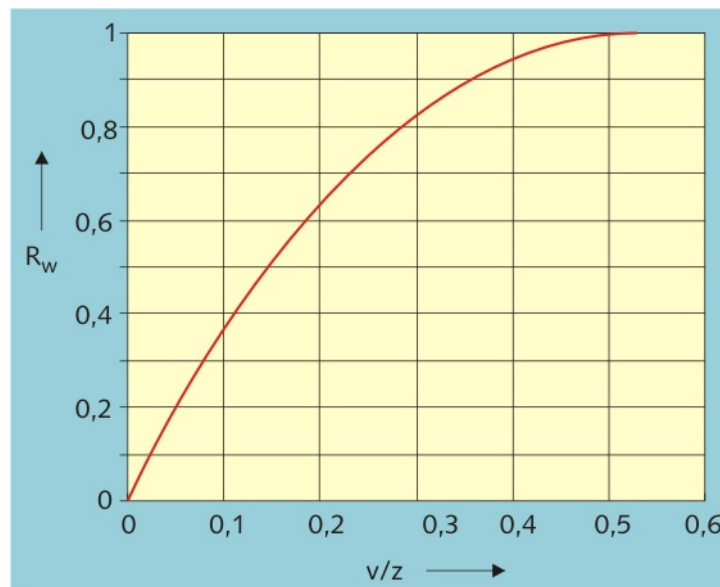
Theoretische maatgevende buitenwaterstand bij hoge gemiddelde waterstand



Figuur 8 - 3.17 geeft de situatie weer waarin de gemiddelde waterstand lager is dan de theoretische maatgevende waterstand; in die situatie is geen reductie mogelijk voor de buitenwaterstand en kan de toetsing direct worden voortgezet met stap 2.4. In het andere geval, waarin de gemiddelde waterstand hoger ligt dan de theoretische maatgevende waterstand, is wel een reductie mogelijk. Dit geval is weergegeven in Figuur 8 - 3.18.

Zoals aangegeven in de figuur moet in dit geval de Gemiddelde Waterstand GWS worden aangehouden als maatgevende buitenwaterstand. In dat geval veranderen de verhoudingen tussen a en v (grotere a en kleinere v) en zal er een kleinere wateroverdruk onder de bekleding optreden. Hiervoor wordt een reductiefactor (R_w) toegepast op de benodigde laagdikte zoals bepaald in stap 2.2. De reductiefactor R_w wordt bepaald met Figuur 8 - 3.19.

Figuur 8 - 3.19
 Reductiefactor R_w



De resulterende formule voor het bepalen van de benodigde laagdikte is exact hetzelfde als de formule in stap 2.2, gecorrigeerd met de reductiefactor R_w ; de formule is als volgt:

$$d_{v,max,r} = 0,21 \cdot Q_n \cdot z \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \cdot R_w$$

Als de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte in het gehele dwarsprofiel groter is dan de berekende vereiste waarde $d_{v,max,r}$ is de score op Wateroverdruk 'goed'. Met andere woorden: de minimale aanwezige laagdikte (d_{min}) moet groter zijn dan de maximale vereiste laagdikte inclusief reductie ($d_{v,max,r}$). Als dat niet het geval is geldt een tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 2.4.

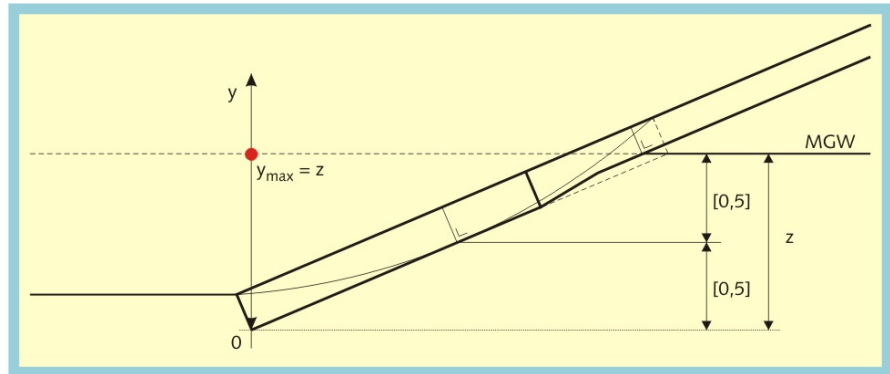
Stap 2.4: Toetsing met verloop van de laagdikte

De zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden is de zone tussen de maatgevende grondwaterstand in het dijklichaam en de onderkant van de gesloten bekleding. De wateroverdruk onder de bekleding is maximaal ter plaatse van de maatgevende buitenwaterstand (de theoretische waarde óf de gemiddelde waterstand, zie stap 2.3). Het is niet noodzakelijk dat deze asfaltdikte in de hele zone aanwezig is. Aan de onderkant van de bekleding en ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand is geen wateroverdruk aanwezig en kan de dikte gelijk aan nul zijn. Tussen deze twee uitersten is het verloop van de omhullende van de optredende wateroverdrukken ongeveer parabolisch.

Om de benodigde laagdikte op elke willekeurige plaats te kunnen berekenen dient er een assenstelsel opgezet te worden, waarbij de y-as verticaal omhoog wijst. Het nulpunt van deze y-as wordt gelegd op de onderkant van de asfaltbekleding, waarbij het maximum z (eventueel met toeslag voor teenbescherming of damwand, zie stap 2.2) ligt ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand. Dit is weergegeven in Figuur 8 - 3.20.

Figuur 8 - 3.20

Verloop van de vereiste laagdikte



Voor de eenvoud wordt er nu van uitgegaan dat het maximum ligt op 0,5·z boven de onderkant van de bekleding, in plaats van 0,47·z. Ook hier moet de eventuele toeslag voor teenbescherming of damwand bij z in rekening worden gebracht. De laagdikte als functie van y kan dan als volgt worden beschreven:

$$d_v(y) = \frac{4}{z} \cdot d_{v,max,r} \cdot \left(y - \frac{y^2}{z}\right)$$

waarin:

- $d_v(y)$ = de vereiste laagdikte op y meter van de onderkant van de gesloten bekleding [m]
- $d_{v,max,r}$ = de maximale vereiste laagdikte zoals bepaald in stap 2.3 [m]
- y = de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt [m]

Als op alle punten van het dwarsprofiel geldt dat de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte groter is dan de ter plaatse berekende vereiste waarde, is de score op Wateroverdruk 'goed'; als dat niet het geval is geldt een tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 3.

Stap 3: Geavanceerde toetsing Wateroverdruk

Als in de eenvoudige toetsing van stap 2 geen score 'goed' kan worden gegeven (de vereiste laagdikte is groter dan de aanwezige laagdikte), is geavanceerde toetsing nodig om tot een eindscore te komen.

Als eerste stap ligt het daarbij voor de hand om gebruik te maken van een niet-stationair grondwaterstromingsmodel om de maximale overdruk onder de bekleding te bepalen. Hierbij hoort een gevoeligheidsanalyse met parameterwaarden binnen de range waarvan bekend is dat ze voorkomen. Het verloop van de waterstand tijdens de storm wordt bepaald zoals aangegeven in de HR2006 [45]. Hierbij daalt de waterstand over een periode van een halve stormduur van Toetspeil + toeslagen naar Gemiddeld Laag Water (GLW) respectievelijk Streefpeil (SP). Bij de toetsing moet het belastinggeval worden beschouwd van een extreme waterstand met bijbehorende neerslag.

Uit deze geavanceerde berekening kan een eindscore 'goed' volgen, maar het is in het algemeen niet terecht om op basis hiervan een score 'onvoldoende' te geven: in het algemeen is het mogelijk om door gericht lokaal onderzoek minder conservatieve parameterwaarden te bepalen, waardoor een gunstiger resultaat kan worden bereikt.

3.4.5 *Bezwijken van de onderlaag ABO*

Beoordeling op het spoor Bezwijken van de onderlaag kan leiden tot een score 'voldoende' als de score op Golfklap of Wateroverdruk 'onvoldoende' is. Het principe van de beoordeling is hetzelfde als bij steenzettingen (zie § 2.2.6 van dit katern): uitgaand van het maatgevende stormverloop wordt berekend hoe lang het duurt totdat de constructie bezwijkt; als deze tijdsduur groter is dan de belastingduur, kan een score 'voldoende' worden toegekend. De belastingduur kan op dezelfde manier worden bepaald als bij steenzettingen. De bijdrage aan de reststerkte van toplaag en onderlagen wordt hieronder behandeld.

Reststerkte van de toplaag

De te verrekenen bijdrage van de toplaag is afhankelijk van de score op de twee sporen voor de toplaag:

- als op Bezwijken van de onderlaag wordt getoetst omdat alleen de score op Golfklap 'onvoldoende' is (dus de score op Wateroverdruk is 'goed'), kan uit de berekeningen met het rekenmodel GOLFKLAP worden afgeleid wat de tijdsduur is totdat de toplaag bezwijkt. Deze tijdsduur kan worden gezien als de reststerkte van de toplaag, en kan worden afgetrokken van de belastingduur. De onderlagen hoeven dus slechts de resterende tijdsduur te doorstaan om een score 'voldoende' te kunnen geven;
- als de score op Wateroverdruk 'onvoldoende' is, is geen informatie bekend over de tijdsduur tot aan bezwijken van de toplaag. Als eerste conservatieve benadering kan voor de onderlagen worden uitgegaan van de volledige belastingduur; het is denkbaar om geavanceerde toetsing toe te passen om ook voor dit geval de reststerkte van de toplaag te bepalen.

Reststerkte van de onderlagen

Bij asfaltconstructies is meestal geen onderlaag aanwezig. Dit geldt vooral ter plaatse van de zone die tijdens maatgevende omstandigheden wordt belast. De gevallen waarin de onderlaag nog voor voldoende veiligheid kan zorgen als de bovenlaag het laat afweten, zijn dan ook zeer beperkt.

Klei

Voor de beoordeling van de reststerkte van klei wordt gebruik gemaakt van § 2.4.6, van dit katern waarin het deelspoor Erosie van de onderlagen bij steenzettingen wordt behandeld. Het schema van Figuur 8 - 2.16 kan worden doorlopen, waarbij voor de reststerkte van de toplaag + de granulaire laag t_{rg} eventueel het resultaat van de berekening met het rekenmodel GOLFKLAP kan worden gebruikt (zie hierboven). Onderlagen van keileem kunnen op dezelfde manier worden behandeld als onderlagen van klei.

Zandasfalt

Onder open steenasfalt, oudere asfaltbetonbekledingen en bij steenzettingen wordt soms een onderlaag van zandasfalt aangetroffen. Het verloop van de toetsing op Bezwijken van de onderlaag hangt af van de toetsing op Golfklap en Wateroverdruk:

- als de score van de toplaag op Wateroverdruk 'onvoldoende' is, dan kan worden aangenomen dat de zandasfaltlaag ook is bezweken; de zandasfaltlaag heeft in dat geval dus geen reststerkte;

- als de score alleen op Golfklap 'onvoldoende' is, is van belang of daarbij al dan niet rekening is gehouden met de aanwezigheid van de zandafvaltaag. Als daarmee al rekening is gehouden, is de reststerkte van de zandafvaltaag al verwerkt in de berekening met het rekenmodel GOLFKLAP en kan dus niet in rekening worden gebracht als aparte bijdrage. Als in de toetsing op Golfklap alleen met de toplaag is gerekend, kan een berekening met het rekenmodel GOLFKLAP worden uitgevoerd waarin het tweelagensysteem is verwerkt; hiervoor is specialistische inbreng nodig. Uit deze berekening met het rekenmodel GOLFKLAP volgt de reststerkte van de gecombineerde laag.

Geotextiel

Het geotextiel heeft een grondkerende functie. Daarom wordt een bovenlaag van open steenasfalt vaak aangelegd op een geotextiel. Het geotextiel levert in geval van bezwijken van de bovenlaag weliswaar enige bijdrage aan de veiligheid van de dijk, maar het is niet mogelijk om deze bijdrage te kwantificeren. De reststerkte van een onderlaag van geotextiel wordt daarom in de toetsing verwaarloosd.

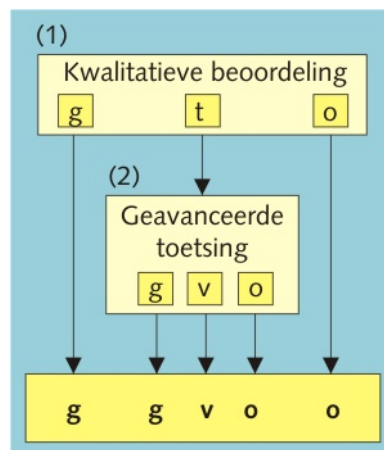
Loskorrelige materialen

Ook voor onderlagen van mijnsteen, grind en steenslag geldt dat ze in geval van bezwijken enige bijdrage aan de veiligheid van de dijk bieden, maar dat deze bijdrage niet kan worden gekwantificeerd. De reststerkte van een onderlaag van loskorrelige materialen wordt daarom in de toetsing verwaarloosd.

3.5 Toetsing van overgangsconstructies

Bij de toetsing van overgangsconstructies in asfaltbekledingen is met name het faalmechanisme materiaaltransport van belang. Net als voor beoordelingsspoor Materiaaltransport bij de bekleding zelf is de basis van de toetsing dan ook een visuele inspectie. Als die geen uitsluitsel geeft, is geavanceerde toetsing nodig. Het schema staat in Figuur 8 - 3.21.

Figuur 8 - 3.21
Beoordelingsschema Overgangsconstructies bij asfaltbekledingen AOC



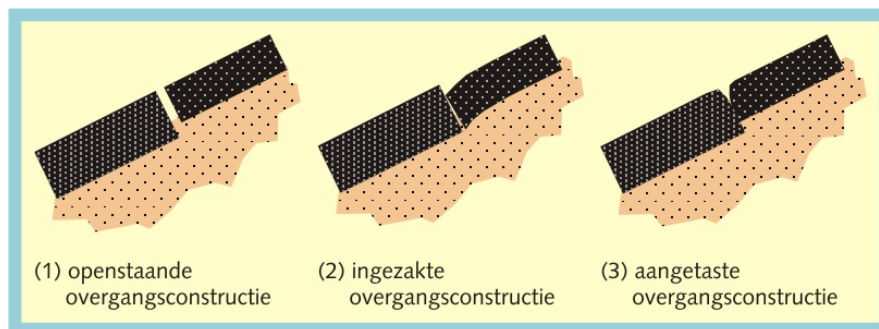
Schadebeelden

Bij overgangsconstructies wordt onderscheid gemaakt tussen drie schadebeelden, weergegeven in Figuur 8 - 3.22:

- openstaande overgang: er is ruimte gekomen tussen de twee bekledingen. Dit kan resulteren in vervolgschade;
- ingezakte overgang: als de ruimte tussen de bekledingen zo groot wordt dat zand uit het onderliggende grondlichaam uitspoelt, kan de bekleding gaan verzakken;

- aangetaste rand: als gevolg van stroming, golfbelastingen of drijvend los materiaal kunnen de randen van een openstaande overgang afbrokkelen.

Figuur 8 - 3.22
Schade aan overgangsconstructies



Vaak is een overgangsconstructie niet geheel vlak zodat de golven een aangrijppunt hebben van waaruit de bekleding wordt aangetast, d.w.z. asfaltdeeltjes zijn uit het oppervlak van de bekleding verdwenen. De overgangsconstructie zelf is dus niet aangetast maar de bekleding van de aanliggende constructie wel. Dit is een veel voorkomend schadebeeld. De toetsing op dit schadebeeld valt onder stap 1 van het spoor Golfklap (zie § 3.4.3 van dit katern).

Stap 1: Eenvoudige toetsing Overgangsconstructies bij asfaltbekledingen

Het is met de huidige kennis niet mogelijk om cijfermatige toetsregels te geven voor de ernst en omvang van de genoemde schadebeelden. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk een toelaatbare breedte van een openstaande overgang aan te geven. Daarnaast is er een grote variëteit aan constructietypes. Een cijfermatige beoordeling zou voor veel constructies verschillend zijn. Daarom worden bij invulling van de normen slechts kenmerken van de schadebeelden genoemd. In Tabel 8 - 3.9 zijn de criteria gegeven voor beoordeling van schadebeelden.

Tabel 8 - 3.9
Criteria voor de beoordeling van schadebeelden

Schadebeeld	Toetsresultaat	
	Twijfelachtig	Onvoldoende
Openstaande overgang	Wel aanwezig, geen zanduittredding	Zanduittredding
Ingezakte overgang	-	Aanwezig
Aangetaste rand	Wel aanwezig, geen zanduittredding	Zanduittredding

De score is ook 'onvoldoende' als de overgangsconstructie zodanige schade vertoont dat de onderliggende constructie blootligt, ook als geen zanduittredding wordt geconstateerd.

Stap 2: Geavanceerde toetsing Overgangsconstructies bij asfaltbekledingen (nadere beoordeling schade)

Het doel van het onderzoek van de overgangsconstructie is de kwaliteit of restwaarde van overgangsconstructies met schade te beoordelen. Aangetaste randen en openstaande constructies, beide zonder zanduittredding, leiden bij de visuele inspectie tot de kwalificatie 'twijfelachtig'. In dat geval moet met een onderzoek van de overgangsconstructie een kwaliteitsoordeel kunnen worden gegeven. De constructies bij overgangen zijn zo divers dat een exacte beschrijving van een onderzoek van een

overgangsconstructie niet is te geven. In het onderzoek moet worden aangetoond dat de constructie-overgang zijn functie nog kan vervullen. Dit gebeurt aan de hand van de constructietekeningen. Alleen als kan worden aangetoond dat de constructie zijn functie kan vervullen, dan leidt het onderzoek tot het eindoordeel 'voldoende'. Anders is het oordeel 'onvoldoende'. Een opsomming van de zwaktes van de aanwezige overgangsconstructie en een inschatting van de risico's moeten onderdeel van het onderzoek van de overgangsconstructie uitmaken.

4 Grasmatt

4.1 Inleiding

4.1.1 Definitie en afbakening

Dit hoofdstuk is van toepassing op de volgende types uit hoofdstuk 1, Tabel 8 - 1.1:

20. gezaaid gras;
21. graszoden en graszaad/zoden in kunststofmatten.

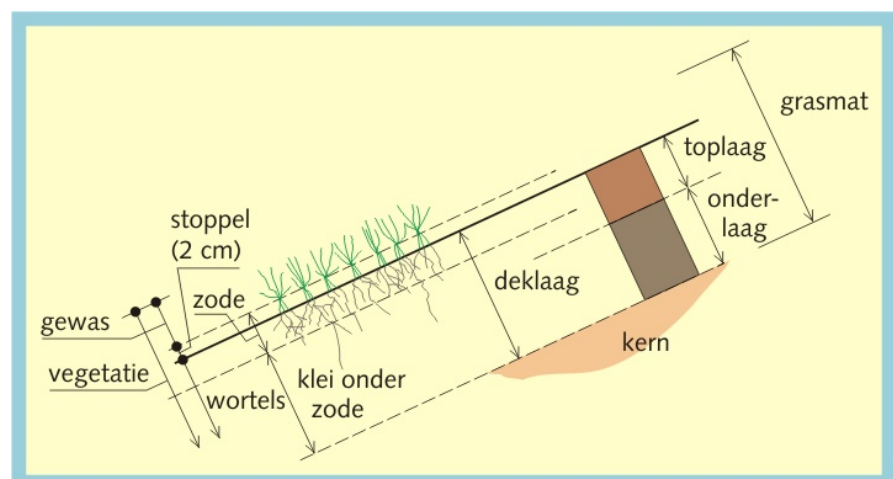
Over de erosie- en stabiliteitsverhogende werking van doorgroeibare kunststof matten (Type 21) is nog onvoldoende bekend en het beperkte voorkomen van die matten rechtvaardigt geen aparte toetsingsmethodiek. Bij de veiligheidsbeoordeling van een grasmatt wordt de aanwezigheid van dit type versterking dan ook niet in rekening gebracht. Type 21 wordt dus ook volgens de regels van type 20 getoetst.

In dit Voorschrift wordt gemakshalve de benaming 'grasmatt' gebruikt. Er wordt echter een bekledingstype onder verstaan, bestaande uit graslandvegetatie met zijn ondergrond. In deze vegetatie kunnen, naast veel grassen, ook kruidachtige gewassen aanwezig zijn. Door de wijze van onderhoud voorkomt men de vestiging van houtige gewassen en hoog opschietende ruigtekruiden.

Een grasmatt-bekleding bestaat uit:

- een graslandvegetatie met bovengrondse en ondergrondse delen (toplaag);
- een deklaag van kleiige grond, zowel dienend als substraat voor die vegetatie, als voor extra veiligheid na wegeroderen van het sterk doorwortelde bovenste deel (onderlaag).

Figuur 8 - 4.1
Opbouw en indeling van de grasmatt



Voor het beoordelen van de sterkte wordt de volgende onderverdeling van de grasmat gehanteerd (zie Figuur 8 - 4.1):

- **de zode:**
het intensief doorwortelde bovenste deel van de deklaag, bestaande uit substraat plus wortels;
- **de onderlaag**
het nauwelijks doorwortelde deel van de deklaag, onder de zode gelegen.

Bij soortenrijke kruidenrijke grasmatten kan de zode dieper zijn, met een meer geleidelijke overgang naar de onderlaag, dan bij soortenarme grasmatten. De wortels spelen geen rol in de erosiebestendigheid van de onderlaag.

De vegetatie kan in principe vrij wortelen in de deklaag. In de praktijk blijkt een zichtbare sterke afname van de doorworteling in de diepte, meestal tussen 5 en 20 cm onder het maaiveld; die afname vindt meestal over enkele centimeters plaats. Dat maakt een redelijk nauwkeurige schatting van de zodedikte mogelijk. Soms is een duidelijk te onderscheiden laag van ander materiaal aanwezig tussen de (doorwortelde) zode en de kleilaag onder de zode, bijvoorbeeld als gevolg van een laagsgewijze aanleg of door bodemvormingsprocessen. Als een belangrijk deel van zo'n toplaag niet zodanig is doorworteld, dat het tot de zode mag worden gerekend, dan wordt deze laag beschouwd en beoordeeld als een eerste onderlaag. In zo'n geval sluiten de zode en de onderlaag dus niet op elkaar aan.

4.1.2 *Faalmechanismen en beoordelingsporen*

Voor grasbekleding zijn zes mechanismen te onderscheiden die afzonderlijk of in combinatie kunnen leiden tot het bloot komen van de kern van de dijk:

- 1 het wegspoelen van afzonderlijke gronddeeltjes en kleine brokken tussen de wortels uit. Als dit leidt tot geleidelijke, min of meer gelijkmatige, erosie over een groot oppervlak, dan wordt dit meestal niet als schade ervaren. Dit mechanisme kan echter ook tot zodanige grondverplaatsingen leiden dat het deklaagoppervlak oneffen wordt of de vegetatie wordt verstoord;
- 2 het plotseling uitspoelen van grotere brokken (tot tweemaal vuistgrootte) ten gevolge van waterdrukverschillen tussen de holten en spleten in het substraat en het buitenwater. Oneffenheden in het deklaagoppervlak bevorderen het optreden van zulke drukverschillen;
- 3 het door plaatselijk sterkere erosie doorbreken van de zode;
- 4 het opbreken of oprollen van de zode, uitgaande van een gat, door golfwerking of langsstroming;
- 5 erosie van alle onderlagen van de klei nadat de zode verdwenen is (reststerkte);
- 6 afschuiving van de grasmat langs een glijvlak door de onderlaag ten gevolge van verzadiging of grondwaterstromingen.

De eerste vier betreffen erosie van de zode die door golfklappen, golfoploop, golfoverslag en stroming wordt veroorzaakt. De vijfde betreft erosie van de onderlagen. De laatste betreft een afschuiving langs een glijvlak.

De mechanismen worden behandeld in de volgende vijf beoordelingsporen:

- Erosie door golfklap, GEKL;
- Erosie door golfoploop, GEOP;
- Erosie door golfoverslag, GEOV;
- Erosie van de onderlagen, GEO;
- Afschuiving, GAF.

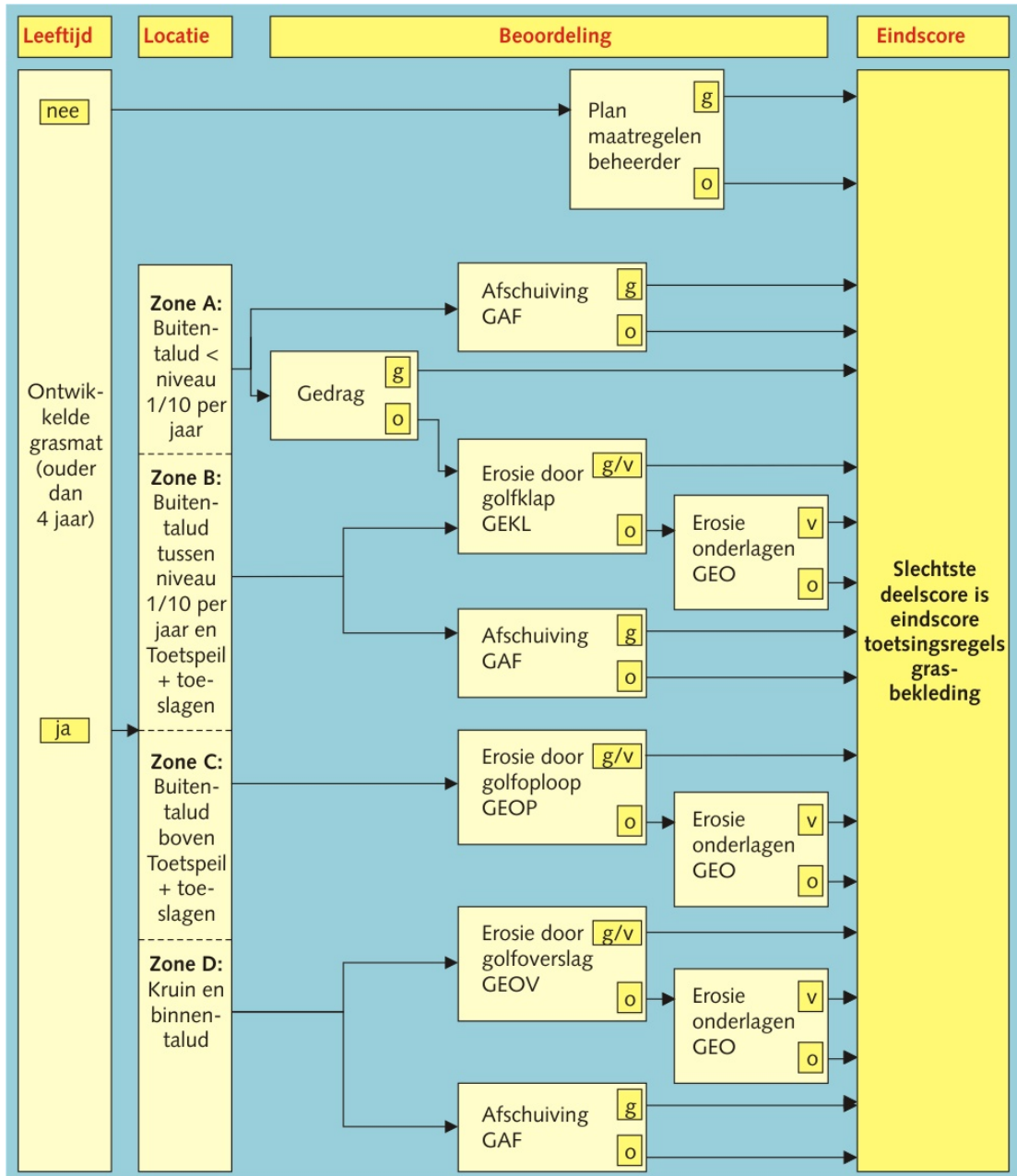
In de afkortingen voor de sporen staat de letter G voor gras.

Vanwege de complexiteit van de beoordelingsmethodes, zijn deze opgenomen in het rekenmodel GRASSTOETS. Dit rekenmodel is beschikbaar via de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van Katern 1..

4.1.3 Hoofdschema toetsing

Het hoofdschema van de toetsing is weergegeven in Figuur 8 - 4.2. De beoordeling die wordt uitgevoerd om tot een eindscore te komen is afhankelijk van de leeftijd en de locatie op het dijkprofiel van de grasbekleding. Eerst wordt op basis van de leeftijd van de grasmatten en de locatie op het dijkprofiel bepaald welke beoordeling wordt gevolgd om tot een eindscore te komen.

Figuur 8 - 4.2
Hoofdschema toetsing grasbekleding



Leeftijd

Allereerst wordt de vraag gesteld of de grasbekleding ouder is dan vier jaar. De ontwikkeling van een goede erosiebestendige grasmat vergt met het juiste beheer namelijk ongeveer vier jaar. In de eerste vier jaar na aanleg is een grasmat minder of zelfs onvoldoende erosiebestendig. Dit betekent dat bij hoogwater in de eerste vier jaar aanvullende maatregelen nodig zijn. Gedacht kan worden aan afdekken van het talud of extra bewaking. De grasmat is in de ontwikkelingsfase ook kwetsbaarder voor bijvoorbeeld droogte en schade door berijden met zwaar materieel. Wanneer er in de ontwikkelingsfase iets mis gaat kan dat betekenen dat deze fase langer duurt. In eerste instantie kan worden aangenomen dat de ontwikkelingsfase vier groeiseizoenen duurt; het is aan de beheerder om aan te geven of grasmatten met een leeftijd ouder dan vier groeiseizoenen zich ook nog in de ontwikkelingsfase bevinden.

Voor dijkgrasland in de ontwikkelingsfase (normaal gesproken jonger dan vier groeiseizoenen) geldt geen aparte toetsmethode en kan uitsluitend een beheerdersoordeel opgesteld worden.

Locatie

De ligging van de grasmat ten opzichte van Toetspeil + toeslagen bepaalt welke sporen moeten worden doorlopen.

Binnen één dwarsprofiel wordt onderscheid gemaakt tussen vier zones:

- A. buitentalud met een belastingskans door golfklap $> 1/10$ per jaar;
- B. buitentalud tussen niveau $1/10$ per jaar en Toetspeil + toeslagen;
- C. buitentalud boven Toetspeil + toeslagen;
- D. kruin en binnentalud.

De bovengrens van zone A is gelijk aan de waterstand met een overschrijdingskans van $1/10$ per jaar. Een grasbekleding in deze zone hoeft in eerste instantie niet te worden getoetst op erosie, maar wordt in plaats daarvan getoetst op gedrag. De beheerder zorgt daar op basis van ervaring verder voor een normaal goed kwaliteitsniveau. Als de tussenscore 'goed' is, dan wordt dit tevens de eindscore voor dit spoor. Is de tussenscore 'onvoldoende', dan wordt op Erosie getoetst als ware de grasbekleding gelegen in zone B. In zone A wordt wel direct op Afschuiving getoetst.

Een grasbekleding in zone B wordt zowel op Erosie door golfklap als op Afschuiving getoetst. Als de score van de toetsing op Erosie door golfklap 'goed' of 'voldoende' is, wordt dit tevens de eindscore voor dit spoor. Als dit niet zo is, dan wordt ook op Erosie van de onderlagen getoetst.

Een grasbekleding in zone C, de olopzone, wordt op Erosie door golfoploop getoetst. Als de score van de toetsing op Erosie door golfoploop 'goed' of 'voldoende' is, dan wordt dit tevens de eindscore. Als dit niet zo is, wordt de toetsing voortgezet met de toetsing van Erosie van de onderlagen.

Een grasbekleding in zone D, kruin en binnentalud, wordt getoetst op Erosie door golfoverslag. Als de score van de toetsing op Erosie door golfoverslag 'goed' of 'voldoende' is, wordt dit tevens de eindscore voor dit spoor. Als dit niet zo is, dan wordt ook op Erosie van de onderlagen getoetst. Alleen het binnentalud, dus niet de kruin, wordt daarnaast op Afschuiving getoetst.

4.2 Belastingen

Bovengenoemde bezwijkmechanismen worden veroorzaakt door de volgende soorten hydraulische belasting: waterstand, wind- en scheepsgolven (golfklappen en golfploop), stroming door overslag en neerslag, met inachtneming van zowel intensiteit als duur. Na een algemene bespreking wordt de belasting per beoordelingsspoor besproken.

Stroming langs de dijk is in de Nederlandse situatie voor erosie in de regel niet maatgevend. In uitzonderlijke gevallen kan de stroomaanval zo groot worden, dat een grasbekleding niet voldoet. In gevallen waar dit voorkomt wordt aanbevolen contact op te nemen met de Helpdesk Water (zie hoofdstuk 6 van het Centrale Gedeelte).

De maatgevende belasting wordt veroorzaakt door de golfaanval: in de brekerzone door klappen van brekende golven, daarboven door stromend water in de oplooptong en daarbeneden door de orbitaalbeweging van de golven aan de bodem. Bij een talud flauwer dan 1:5 worden de brekende golven gedempt door de nog aanwezige waterlaag van de golfterugloop.

Andere belastingen, zoals aanvaringen, drijvende voorwerpen, ijs, graverij, betreding, zout en uitdroging, zijn beperkter in omvang en beïnvloeden in de eerste plaats de sterkte van de grasmat. Ze leiden niet direct tot bezwijken van de waterkering; ze zijn verspreid in de tijd en worden (met uitzondering van drijvende voorwerpen) verondersteld niet samen te vallen met maatgevende waterstanden en golfbelastingen. Eventuele schade wordt opgevangen door een goede inspectie, goed onderhoud en noodherstel.

Bomen, struiken en bebouwing beïnvloeden de belasting op de grasmat door:

- golfreductie;
- contractie in afstromend water en golfploop en vorming van wervelstraten;
- windbelasting;
- te fungeren als aangrijpingspunten voor kruidend ijs.

De invloed hiervan wordt nader beschreven in Katern 10.

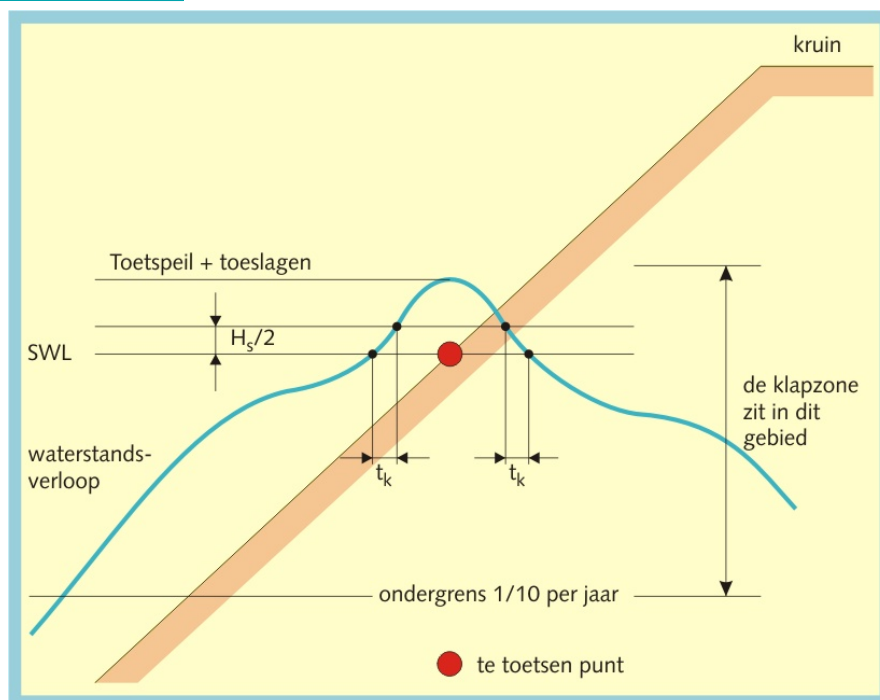
4.2.1 Erosie door golfklap GEKL

De parameters voor de karakterisering van de belasting in de golfklapzone zijn de significante golfhoogte aan de teen van de dijk H_s , de golfperiode T_p (behorende bij de piek van het energiedichtheidsspectrum), de taludhelling α_k (waarbij de k staat voor 'klap'), het waterstandsverloop tijdens de maatgevende storm en de belastingduur. Bij gedetailleerde toetsing wordt in principe voor alle niveaus uitgegaan van de golfparameters die horen bij Toetspeil + toeslagen. In geavanceerde toetsing kan het soms mogelijk zijn om bij lagere waterstanden met andere golfparameters te rekenen (zie § 4.4.3 van dit katern).

De in rekening te brengen helling α_k is de gemiddelde helling van het buitentalud over het gedeelte van $1,5 \cdot H_s$ onder de maatgevende waterstand voor het te toetsen punt. Deze maatgevende waterstand ligt normaal gesproken $0,5 \cdot H_s$ boven het te toetsen punt, met Toetspeil + toeslagen als bovengrens. Als in het betreffende taludgedeelte een berm aanwezig is, wordt deze niet meegerekend bij het bepalen van de gemiddelde helling.

In Figuur 8 - 4.3 is voor Erosie door golfklap getoond hoe de in rekening te brengen tijdsduur van de belasting is te bepalen waarbij het te toetsen punt op de dijk in de klapzone ligt.

Figuur 8 - 4.3
Bepalen tijdsduur belasting in de klapzone



De tijdsduur t_k dat het te toetsen punt in de klapzone ligt is gelijk aan de tijd die de waterstandsstijging en de waterstandsdaling doen over een schijfhoogte van $0,5 \cdot H_s$ m boven het te toetsen punt. In HR2006 [45] staat informatie over het in rekening te brengen waterstandsverloop. Voor het rivierengebied (zowel boven- als benedenrivieren) kan in deze berekening worden uitgegaan van een stormduur van 12 uur, met uitzondering van deelgebied 2 in het benedenrivierengebied (zie figuur 2-4 in HR2006 [45]) waar uitgegaan moet worden van een stormduur van 35 uur. Dit betekent dat in de berekening van de belastingduur t_k moet worden uitgegaan van het volledige verloop volgens HR2006 [45], maar dat de resulterende belastingduur t_k niet groter kan zijn dan 12 uur of 35 uur.

4.2.2 Erosie door golfoploop GEOP

De parameters die de belasting karakteriseren in de golfoploopzone zijn: de rekenwaarde v_r van de stroomsnelheid tijdens een golfperiode, de taludhelling α_o (waarbij de o staat voor 'oploop'), het waterstandsverloop tijdens de maatgevende storm en de belastingduur. Bij gedetailleerde toetsing wordt in principe voor alle niveaus uitgegaan van de golfparameters die horen bij Toetspeil + toeslagen. In geavanceerde toetsing kan het soms mogelijk zijn om bij lagere waterstanden met andere golfparameters te rekenen (zie § 4.4.4 van dit katern).

Rekenregels voor v_r worden behandeld bij de beoordeling (zie § 4.4.4 van dit katern).

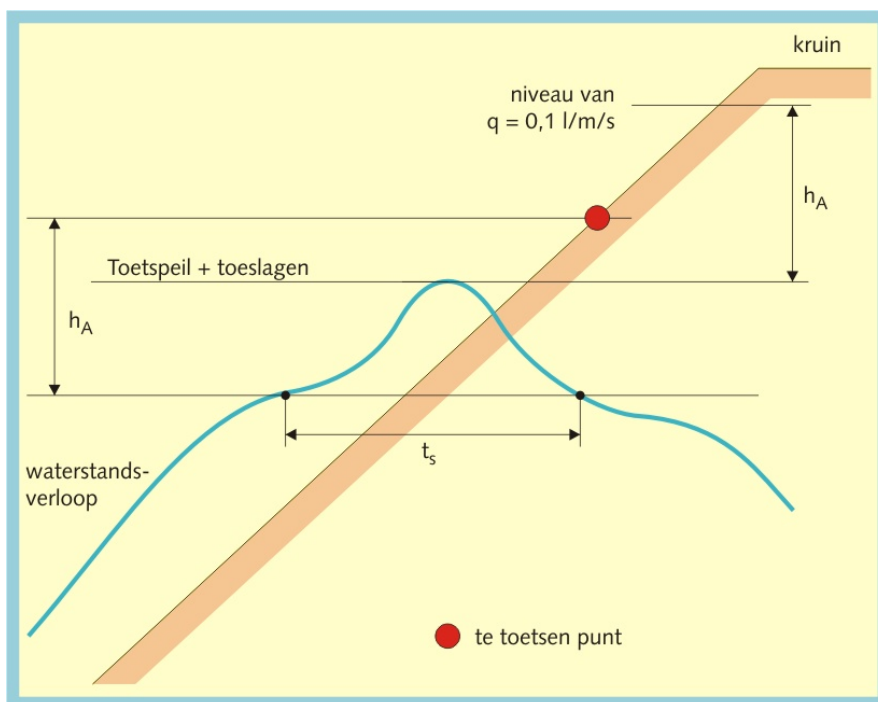
De in rekening te brengen hoek α_o voor het buitentalud is voor de oploopzone normaal gesproken de gemiddelde hoek over het gedeelte tussen het Toetspeil + toeslagen + $1,5 \cdot H_s$ en Toetspeil + toeslagen - $1,5 \cdot H_s$. Daarbij moet echter wel rekening worden gehouden met de ligging van teen, kruin en berm. Als het niveau Toetspeil + toeslagen - $1,5 \cdot H_s$ lager ligt dan de teen, wordt het niveau van de teen aangehouden, en als Toetspeil + toeslagen + $1,5 \cdot H_s$ hoger ligt dan de buitenkruinlijn, wordt het niveau van de buitenkruinlijn aangehouden.

Bij aanwezigheid van een berm in de oploopzone, geldt voor α_o een verschillende waarde voor grasbekledingen onder en boven de berm. Voor het gras bóven de berm wordt alleen het taludgedeelte boven de berm meegenomen, terwijl voor het gras ónder de berm juist alleen het taludgedeelte onder de berm wordt meegenomen voor het bepalen van α_o . Benadrukt wordt, dat α_o niet noodzakelijk de helling van de aanwezige grasbekleding is; taludgedeelten met een andere bekleding worden op dezelfde wijze meegenomen in de bepaling van α_o .

De tijdsduur t_s waarbij het te toetsen punt op het buitentalud in de oploopzone ligt, is gelijk aan de tijd die de waterstandsstijging en de waterstandsvaling doen over een schijfhoogte gelijk aan het hoogteverschil tussen Toetspeil + toeslagen en het niveau op h_A beneden het te toetsen punt. De parameter h_A is gelijk aan de oploophoogte z_q , gedefinieerd als de oploophoogte ten opzichte van Toetspeil + toeslagen, behorende bij een fictief overslagdebiet q ter grootte van 0,1 l/m/s op een oneindig lang talud met een helling gelijk aan het buitentalud (zie Figuur 8 - 4.4). De oploophoogte z_q wordt berekend met behulp van de HYDRA-rekenmodellen (zie HR2006 [45]). Bij complexe geometrie van het talud moeten eerst de randvoorwaarden (Toetspeil + toeslagen en golfrandvoorwaarden) worden bepaald met de HYDRA-rekenmodellen op basis van waarvan het overslagdebiet met het rekenmodel PC-OVERSLAG berekend kan worden (zie ook Katern 4). De HYDRA-rekenmodellen en het rekenmodel PC-OVERSLAG gebruiken beiden de formuleringen uit het Technisch rapport Golfloop en Golfoverslag bij Dijken [20], maar het rekenmodel PC-OVERSLAG heeft de mogelijkheid om een complexere geometrie (dan de HYDRA-rekenmodellen) toe te passen. Bij die berekening moet normaal gesproken rekening worden gehouden met de invloed van een eventuele buitenberm op de golfloop (zie [19]). Alleen voor de toetsing van grasbekledingen in de oploopzone ónder een berm moet z_q worden bepaald zonder rekening te houden met de berm, en uitgaand van de taludhelling onder de berm.

Figuur 8 - 4.4

Bepalen tijdsduur belasting in de golfloopzone



In HR2006 [45] staat informatie over het in rekening te brengen waterstandsverloop. Voor het rivierengebied (zowel boven- als benedenrivieren) kan ook in deze berekening worden uitgegaan van een stormduur van 12 uur, met uitzondering van deelgebied 2 in het benedenrivierengebied (zie figuur 2-4 in HR2006 [45]) waar uitgegaan wordt van een stormduur van 35 uur. Dit betekent dat in de berekening van de belastingduur t_s moet worden uitgegaan van het volledige verloop volgens HR2006, maar dat de resulterende belastingduur t_s niet groter kan zijn dan 12 uur of 35 uur.

4.2.3 Erosie door golfoverslag GEOV

De belasting door golfoverslag bestaat uit een overslagdebiet uitgedrukt in l/m/s. In geval van afstroming bij golfoverslag kunnen niet al te korte bovengrondse delen van een redelijk gesloten vegetatie zorgen voor een afscherming van het grondoppervlak; ze vallen dan over elkaar heen als een rieten dakbedekking. Bij grotere golven zijn de bovengrondse delen niet lang bestand tegen wisselende stroomrichtingen. De invloed van blootgespoelde dichte wortelnetwerken (uit de zode) is niet te verwaarlozen; deze invloed moet worden gezien in relatie tot de schaal van de belasting; voor kleine golven op rivierdijken zal de demping belangrijker zijn dan voor grote golven op zeedijken.

De tijdsduur t_s voor de punten op de kruin en het binnentalud wordt gelijk genomen aan de tijdsduur t_s die geldt voor de buitenkruinlijn. Verwezen wordt naar § 4.2.2 van dit katern.

4.2.4 Erosie van de onderlagen GEO

De rekenmethode voor erosie van de onderlagen bij gras is hetzelfde als bij steenzettingen. De sterkte is vanzelfsprekend anders, maar de belasting is hetzelfde. Zoals besproken in § 2.2.6 van dit katern is het tijdsverloop van waterstand en golfparameters tijdens een maatgevende storm van belang. Het stormverloop wordt behandeld in HR2006 [45]; in § 2.2.6 van dit katern wordt behandeld hoe daaruit voor elk punt op het talud de belastingduur kan worden bepaald.

De methode in § 2.2.6 van dit katern voor het bepalen van de belastingduur is alleen bruikbaar voor de golfklapzone, onder Toetspeil + toeslagen. Voor toetsing van de reststerkte in de oploop- en overslagzone bestaan geen eenvoudige of gedetailleerde rekenregels, dus daarvoor is altijd geavanceerde toetsing nodig. Het bepalen van de belastingduur voor deze zone is een onderdeel van die geavanceerde toetsing.

4.2.5 Afschuiving GAF

De gehele bekledingsconstructie moet grondmechanisch stabiel zijn onder alle omstandigheden. Kritieke toestanden kunnen zich voordoen als de stabiliteit in de deklaag of tussen deklaag en ondergrond afneemt ten opzichte van de oorspronkelijke waarde. Die afname kan het gevolg zijn van volledige verzadiging van het kleidek en/of van waterdrukgradiënten bij hoge grondwaterstanden in een kern. Een andere mogelijke afname kan worden veroorzaakt door wateropname in een stijve klei, zodat die plastisch of 'vloeibaar' wordt.

Voor het buitentalud verloopt de toetsing volgens hetzelfde schema als voor steenzettingen. De belasting wordt behandeld in § 2.2.3: van dit katern de golfhogte H_s en de golfsteilheid spelen een rol.

Voor het binnentalud is het mechanisme afschuiving vergelijkbaar met micro-instabiliteit zoals behandeld in Katern 5; ten aanzien van de belasting is het belangrijkste verschil dat micro-instabiliteit wordt veroorzaakt door water dat van binnen de dijk naar buiten sijpelt, terwijl afschuiving wordt veroorzaakt door infiltratie van overslagwater.

4.3 Sterkte

Eerst wordt de erosiebestendigheid van de zode behandeld en de factoren die de sterkte hiervan bepalen. Dit is de weerstand tegen Erosie door golfklap, golfoploop en golfoverslag. Dan wordt de erosiebestendigheid van de onderlagen behandeld en tenslotte de weerstand tegen afschuiving.

4.3.1 Erosiebestendigheid van de zode

Erosiebestendigheid van de zode is de sterkte voor wat betreft de sporen Erosie door golfklap, Erosie door golfoploop en Erosie door golfoverslag.

.....
Kader 8 - 4.1

Achtergrondinformatie over de werking van de grasmat

De erosiebestendigheid zit in de wortellaag. De samenhang in de grond, waardoor de brokjes of aggregaatjes kunnen bestaan, wordt met name bepaald door cementerende stoffen, die afzonderlijke gronddeeltjes aan elkaar kitten. Plantenwortels en vooral de chemische omstandigheden in de directe nabijheid van hun levende cellen, vormen een belangrijke bron, dan wel de oorzaak van het ontstaan van de cementerende stoffen in de zode. De plantenwortels zelf zijn ook een belangrijk middel om de brokken en brokjes bij elkaar te houden. De zeer fijne haarwortels en schimmeldraden in de grond houden de fijne aggregaten bijeen doordat ze er in verankerd zijn. De grovere plantenwortels houden brokken en brokjes bijeen door een kooiwerking. Het netwerk van grotere en fijnere wortels maakt een zode tot een sterke, veerkrachtige en flexibele laag, die kan vervormen zonder te scheuren. Ook is de zode zeer doorlatend, waardoor ook bij een hoge golfbelasting de stabiliteit van het dijktaalud lang gewaarborgd blijft.

Deze bodemvorming speelt zich op zijn sterkst af in de bovenste 15 cm. Hiervoor is geen erosiebestendige klei nodig; een zandige klei voldoet ook, mits deze enige cohesie bezit. Dit is afhankelijk van het zandgehalte.

Een goede erosiebestendige grasmat is veel beter erosiebestendig dan een kaal kleidek van de meest erosiebestendige klei (categorie 1, zie Bijlage 8 - 2 en [10]). De sterkte van de graszode ontwikkelt zich op zandige klei sneller en beter dan op vette klei.

Erosiebestendige klei verliest op den duur de erosiebestendigheid in de bovenste decimeters ten gevolge van bodemvormende processen (structuurvorming) waarbij scheurvorming en verbrokkeling optreedt. Een graszode kan de erosiebeschermende functie overnemen. Een grasmat heeft echter na aanleg of herstel enige seizoenen nodig om een sterke zode te ontwikkelen. Direct na aanleg of herstel kan een erosiebestendige klei wel, tenminste in het eerste winterseizoen, voor voldoende erosiebestendigheid zorgen.

Factoren die de erosiebestendigheid bepalen

Veel van de factoren die hieronder genoemd worden, worden ondervangen met het dagelijks beheer. Hier wordt bij de toetsing geen aandacht aan besteed. Factoren die de sterkte van de grasmat bepalen zijn:

- de dikte van de deklaag;
- de samenstelling van de klei, met het oog op de vegetatie-ontwikkeling;
- de erosiebestendigheid van de klei (in zode en onderlaag);
- de grondmechanische eigenschappen van de klei (eventueel plus wortels). Dit staat nader uitgewerkt in Bijlage 8 - 2;
- de taludhelling;
- de aard van de vegetatie op het moment van toetsing:
 - soortensamenstelling;
 - ouderdom sinds de aanleg en het seizoen;
 - bedekking door de vegetatie (door stoppel bedekt percentage van de bodem);
 - beschadiging van de grasmat door betreding, graverij of achtergebleven veek, blad of maaisel;
 - doorworteling (wortellengte en biomassa). Dit aspect wordt in meer detail beschreven in § B1.3 van Bijlage 8 - 1;
- de wijze van beheer en veranderingen daarin (zie § B1.1 van Bijlage 8 - 1):
 - de keuze tussen agrarisch gebruik en beheer gericht op natuurontwikkeling;
 - de daarop afgestemde bemestings-, beweidings- en maaitechnieken;
 - bij verpachting: de afspraken hierover met de pachter en de controle op de naleving daarvan;
 - het toelatingsbeleid ten opzichte van derden, bijvoorbeeld verkeer, recreatie, etc.;
 - de bestrijding van biologische aantasting (graverij door muskusratten, konijnen, mollen, muizen, etc.);
 - de extra zorg rond overgangen naar andere types bekledingen en rond erosieverhogende elementen, zoals afrasteringen, bomen, struiken, recreatieve voorzieningen, etc.;
 - het herstel van schade ten gevolge van jaarlijkse belastingen;
 - de aanwezigheid van bomen en struiken; deze kunnen de sterkte beïnvloeden door:
 - beschaduwning en bladval, zorgend voor een onregelmatig gesloten zode en een geringere doorworteling;
 - een grootschaliger doorworteling dan van een graslandvegetatie; de stabiliteit van de deklaag kan worden vergroot. Doorworteling onder bomen kan worden beoordeeld met de gewone 'wortel-tel-methode' uit § B.1.3 van Bijlage 8 - 1;
 - mogelijke schade aan de deklaag als gevolg van ontworteling van bomen door wind (zie § 4.2 van Katern 10);
- concentratie van de hydraulische belasting en de betreding, vooral van dieren;
- de aanwezigheid van harde constructies; deze beïnvloeden de sterkte door concentratie van betreding en hydraulische belasting, en eventueel door beschaduwning.

Fluctuaties in de sterkte

Na aanleg of schadeherstel neemt de sterkte van een grasmat langzaam toe, uitgaande van de sterkte van het kale substraat. Na verloop van tijd bereikt de sterkte een maximum, behorende bij de vegetatie die past bij het uitgeoefende beheer.

Een seizoensfluctuatie treedt op door het gedeeltelijk afsterven van de wortels en schimmels in de winter en het weer uitgroeien in voorjaar, zomer en herfst. Daarom moet een eventueel onderzoek naar de doorworteling in het hoogwaterseizoen plaatsvinden.

Bepaling van de sterkte

In deze subparagraaf worden richtlijnen gegeven voor de bepaling van twee sterktekenmerken: de erosiebestendigheid van de graszode en van de klei in de zode.

Erosiebestendigheid van de graszode

De erosiebestendigheid van de zode wordt uitgedrukt in drie categorieën: goed, matig of slecht. Er zijn drie methodes voor de bepaling van de zodekwaliteit. In eerste instantie wordt de zodekwaliteit bepaald op grond van het beheertype. Is dat niet mogelijk, of leidt dat tot twijfel, dan wordt de vegetatiesamenstelling beoordeeld. Mocht ook dit niet leiden tot een duidelijk oordeel, dan wordt de doorworteling van de zode gemeten. In Bijlage 8 - 1 worden alle drie de methodes uitgebreid besproken.

De erosiebestendigheid van de grasbekleding hangt voor het grootste deel af van de doorworteling van de zode. Deze doorworteling is afhankelijk van het vegetatietype. Welk vegetatietype voorkomt is weer grotendeels afhankelijk van het gevoerde beheer. Deze samenhang maakt het mogelijk een uitspraak te doen over de erosiebestendigheid op basis van het gevoerde beheer.

Er zijn echter ook gevallen waarbij het niet duidelijk is welk beheer wordt gevoerd, of waarbij wordt vermoed dat de graskwaliteit anders (dat kan zowel beter als slechter zijn) is dan op grond van het gevoerde beheer zou worden verwacht. In dat geval kan de vegetatiesamenstelling nader worden beschouwd. De praktijk wijst uit dat met name dijkhellingen op het noorden vatbaar zijn voor mosgroei, waardoor de werkelijke zodekwaliteit aanmerkelijk ongunstiger kan zijn dan uit het beheertype zou volgen.

Indien vermoed wordt dat de erosiebestendigheid beter is dan op basis van de vegetatiesamenstelling kan worden geconcludeerd, dan kan de doorworteling worden gemeten. Dit is ook het geval als het aangetroffen vegetatietype sterk afwijkt van de types waarvoor de relatie tussen vegetatietype en zodekwaliteit wordt behandeld in Bijlage 8 - 1.

Met nadruk wordt er op gewezen, dat wel het type beheer een rol speelt bij de veiligheidstoetsing, maar niet de wijze van het beheer zelf. De beheerder wordt geacht een toestand van 'normaal goed' beheer te handhaven, waarbij een gegarandeerde minimum kwaliteit aanwezig is. Dit betreft onder meer het tijdig ruimen van veek en het zonodig bestrijden van mollen. Een goed maaibeheer betekent maaien op de juiste tijdstippen en, behalve bij gazonbeheer, tijdig (binnen acht dagen) verwijderen van het maaisel. Open plekken behoren in het dagelijks beheer aangepakt te worden. Grotere oneffenheden komen eigenlijk alleen voor bij slordig beheer, door bijvoorbeeld niet herstellen van schade of het gebruik van te zwaar materieel onder natte omstandigheden.

Erosiebestendigheid van de klei in de zode

De erosiebestendigheid van de klei wordt uitgedrukt in de categorieën 1 (erosiebestendig), 2 (matig erosiebestendig) en 3 (weinig erosiebestendig). Diverse methodes van bepaling worden behandeld in Bijlage 8 - 2. Het zandgehalte is daarin een belangrijke parameter en speelt ook een expliciete rol in de beoordeling.

Bijzondere aandacht is nodig voor gevallen waarin de kleilaag dunner dan 30 cm is en gevallen waarin zich boven de kleilaag een zandlaag bevindt. In die gevallen staat niet vast dat de berekende sterkte werkelijk aanwezig is. Als in dit soort gevallen op basis van de berekende sterkte met de toetsregels een score 'onvoldoende' wordt bepaald, kan dit worden toegepast als eindscore. Als de rekenscore 'goed' of 'voldoende' is, kan deze niet worden toegepast als eindscore: er is geavanceerde toetsing nodig om de score 'goed' of 'voldoende' te bevestigen. De nadruk zal daarbij liggen op lokale bepaling van de zodekwaliteit en erosiebestendigheid.

4.3.2 Erosie van de onderlagen GEO

De reststerkte van de onderlaag van klei wordt bepaald door de laagdikte en door de erosiebestendigheid van de klei (zie Bijlage 8 - 2).

Als de zode op het buitentalud onvoldoende erosiebestendig is, moet de erosiebestendigheid van de bekleding worden geleverd door het (nog) minder doorwortelde deel van de kleilaag (zie de definitie van onderlaag bij Figuur 8 - 4.1). Vanwege de slechte beoordeling van de zode wordt aangenomen, dat de doorworteling ook in de klei onder de zode geen bijdrage aan de sterkte levert.

4.3.3 Afschuiving GAF

De deklaag kan grondmechanisch instabiel zijn. Dit betekent, dat de deklaag, bijvoorbeeld door van buiten indringend water of een hoge grondwaterstand in de kern, zo weinig schuifweerstand biedt, dat een deel van de laag, of de gehele laag, over de kern hellingafwaarts glijdt.

Wortels vergroten door mechanische koppeling de weerstand van grond tegen afschuiven. Afschuivingen zullen in de grasmat daarom alleen kunnen vóórkomen onder de zode. Een afschuiving kan optreden bij een kleine laagdikte en een zone met een te lage schuifsterkte. Verzadiging van de grotere poriën met water vergroot de belasting en kan ook de sterkte van de klei doen afnemen.

Bij deklagen op steile dijktaluds (bijvoorbeeld steiler dan 1:2,5) kan een sterke doorworteling ook op grotere diepte zinvol zijn.

4.4 Beoordeling

Voor de beoordeling van de grasmat kan gebruik gemaakt worden van het rekenmodel GRASSTOETS.

4.4.1 Toetsing grasbekleding in ontwikkelingsfase

Bij deze stap gaat het erom dat de beheerder nagaat of er goede redenen zijn om te stellen dat de situatie tijdens een hoogwater voldoende veilig is. Dit kan bijvoorbeeld door middel van een plan voor specifieke maatregelen tijdens hoogwater, of door te beredeneren dat door het eventueel bezwijken van de bekleding geen onveilige situatie ontstaat. Dit kan worden aangemerkt als het beheerdersoordeel zoals beschreven in hoofdstuk 6 van Katern 2. De eindscore voor dit geval is dus per definitie gelijk aan het beheerdersoordeel.

4.4.2 Toetsing gedrag

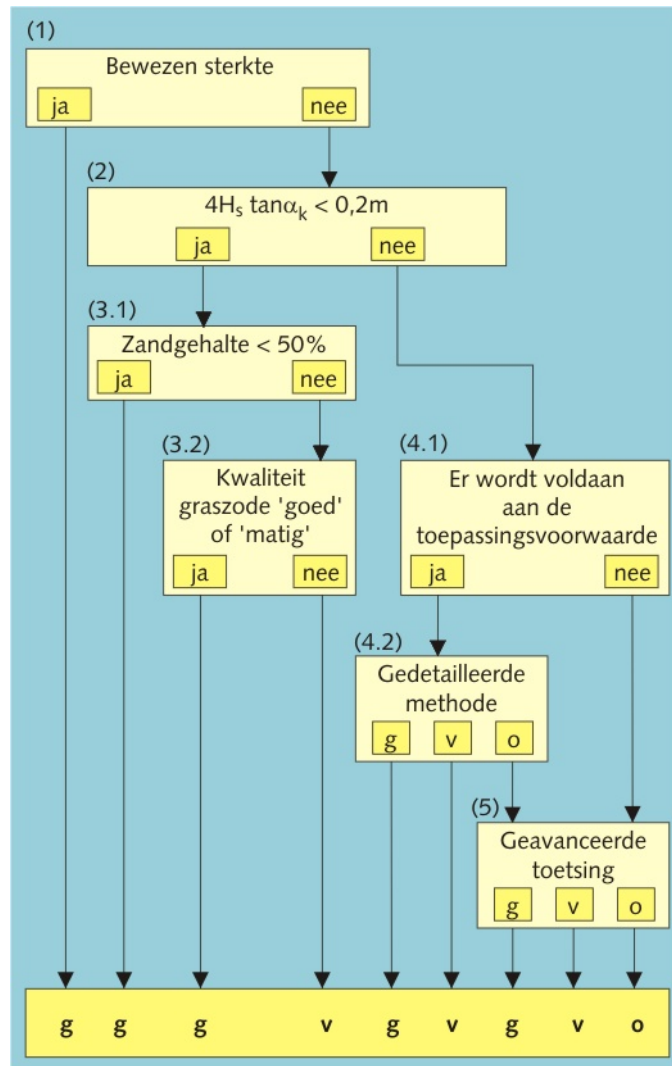
Het gedeelte van het buitentalud met een belastingkans $> 1/10$ per jaar wordt in eerste instantie niet expliciet getoetst op Erosie door golfklap, maar in plaats daarvan op gedrag. De bekleding krijgt op dat spoor de score 'goed' als er in het verleden geen ontoelaatbare schade is opgetreden. Als er in het verleden wel ontoelaatbare schade is opgetreden wordt de grasbekleding verder op Erosie door golfklap getoetst als ware deze gelegen in zone B. Overigens is in zone A wel toetsing op Afschuiving nodig (zie § 4.4.6 van dit katern).

4.4.3 Erosie door golfklap GEKL

De klapzone bestaat uit de zone tussen de ondergrens waar toetsen op erosie nodig is (niveau met een overschrijdingskans voor de waterstand van $1/10$ per jaar) en Toetspeil + toeslagen. In de klapzone wordt ten aanzien van erosie alleen getoetst op golfklappen; de belastingen voor het beschouwde punt in de oplooffase worden geacht hierin te zijn verdisconteerd en afzonderlijk niet maatgevend te zijn.

In Figuur 8 - 4.5 staat het beoordelingsschema voor Erosie door golfklap. Het schema bestaat uit 5 stappen. Allereerst wordt nagegaan of op basis van bewezen sterkte in het verleden de score 'goed' kan worden toegekend. Zo niet, dan wordt via een eenvoudige toetsing nagegaan of de belasting laag genoeg is in relatie tot de taludhelling; als de belasting laag is, wordt de eindscore op 'goed' of 'voldoende' bepaald door het zandgehalte en de kwaliteit van de graszode. Als de belasting hoog is, wordt eerst gekeken of wordt voldaan aan de toepasbaarheidsvoorwaarden van de Gedetailleerde methode voor Erosie door golfklap; zo ja, dan wordt die methode doorlopen. Geavanceerde toetsing is nodig als niet wordt voldaan aan de toepasbaarheidsvoorwaarden, of bij een tussenscore 'onvoldoende' uit de Gedetailleerde methode.

Figuur 8 - 4.5
Beoordelingsschema Erosie door golfklap GEKL



Vooral in het rivierengebied kan de kleilaag zodanig vet zijn dat de wortels van het gras er nauwelijks in kunnen doordringen. De zodekwaliteit zal in zo'n geval 'slecht' zijn. Aangeraden wordt om ook in zo'n geval eerst de toplaag te toetsen op Erosie door golfklap; met name via stap 1 en 2 is ook in zo'n geval nog een eindscore 'goed' of 'voldoende' mogelijk. Als via stap 4.2 een score 'onvoldoende' wordt behaald, kan de toetsing conform het hoofdschema van Figuur 8 - 4.2 worden voortgezet met het spoor Erosie van de onderlagen GEO, waarin de vette kleilaag kan worden behandeld als een onderlaag, conform de definities in Figuur 8 - 4.1.

Stap 1: Bewezen sterkte

Heeft een deel van de grasmat op het buitentalud de laatste tien jaar goed voldaan en zijn beheer en belastingen niet veranderd, dan mag dat deel van die grasmat onder de volgende twee voorwaarden zonder verder onderzoek met 'goed' worden beoordeeld:

- de maatgevende belastingen zijn echt opgetreden gedurende de periode waarin die ervaring is verkregen. Voor rivierdijken kan dit het geval zijn;
- er mogen geen afslagranden of andere vormen van erosie zijn voorgekomen, die dieper zijn gegaan dan 5 cm.

De belasting hoeft niet noodzakelijkerwijs te hebben gewerkt op het gehele met grasmat beklede waterkeringsgedeelte. Een gunstige ervaring lager op de dijk mag (mits geldend voor een zelfde belastinggrootte) ook geldig worden verklaard voor een hoger gelegen plaats, mits de grasmat daar dezelfde kenmerken vertoont qua vegetatietype en kleisamenstelling.

Als de score 'goed' kan worden toegekend, wordt dit tevens de eindscore op dit spoor. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' moet afhankelijk van de locatie op het buitentalud verder getoetst worden met stap 2.

Stap 2: Ondergrens golfbelasting

Bij een zeer lage golfbelasting in relatie tot de taludhelling is de score minimaal 'voldoende'. Hiervoor geldt de volgende voorwaarde:

$$4 \cdot H_s \cdot \tan \alpha_k < 0,2 \text{ m}$$

Ter indicatie: bij een taludhelling van 1:3 moet de golfhoogte H_s kleiner zijn dan 0,15 m en bij een helling van 1:4 hoort een grenswaarde voor de golfhoogte H_s van 0,20 m.

Als aan de voorwaarde wordt voldaan, wordt de score op 'goed' of 'voldoende' bepaald met stap 3. Als dat niet het geval is wordt de toetsing voortgezet met stap 4.

Stap 3: Zandgehalte en graszodekwaliteit

Stap 3.1: Zandgehalte van de klei in de zode

Als het zandgehalte van de klei in de zode maximaal 50% bedraagt, levert dat een score 'goed' op. Als het zandgehalte meer dan 50% bedraagt, gaat de toetsing verder met stap 3.2.

Stap 3.2: Kwaliteit graszode

Als de kwaliteit van de graszode 'goed' of 'matig' is, dan wordt de score 'goed'. Als de kwaliteit van de graszode minder is, dan wordt de score 'voldoende'. De kwaliteit van de graszode valt te bepalen met behulp van § 4.3.1 en Bijlage 8 - 1.

Stap 4: Gedetailleerde methode Erosie door golfklap

De gedetailleerde methode bestaat uit twee stappen. In stap 4.1 wordt nagegaan of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor de gedetailleerde methode. Als dat niet het geval is, is de score direct 'onvoldoende'. Stap 4.2 betreft de rekenmethode aan de hand van maatgevende en toelaatbare belastingduur.

Stap 4.1: Toepassingsvoorwaarden

Het toepasbaarheidsgebied van de gedetailleerde rekenmethode wordt bepaald door de erosiebestendigheidscategorie in relatie tot het belastingsniveau. Het belastingsniveau wordt uitgedrukt door de parameter H_r (rekenwaarde voor de golfhoogte aan de teen van de dijk), en in lijn met [14] als volgt gedefinieerd:

$$H_r = \partial \cdot H_s$$

waarin:

H_r	=	rekenwaarde voor de golfhoogte aan de teen van de dijk	[m]
∂	=	$0,5 \cdot H_s^{-0,25} \cdot T_p^{0,5}$	[-]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
T_p	=	piekperiode	[s]

De toepassingsvoorwaarden zijn als volgt:

- als $4 \cdot H_r \cdot \tan \alpha_k > 0,75$ m: erosiebestendigheid van de klei in de zode categorie 1 of 2;
- als $4 \cdot H_r \cdot \tan \alpha_k \geq 0,2$ m: zandgehalte van de klei in de zode maximaal 50%;
- als $4 \cdot H_r \cdot \tan \alpha_k < 0,2$ m: geen toepassingsvoorwaarde.

Zoals beschreven in § 4.2.1 van dit katern is de hellingshoek α_k de gemiddelde hoek van het buitentalud over het gedeelte van $1,5 \cdot H_s$ onder de maatgevende waterstand voor het te toetsen punt.

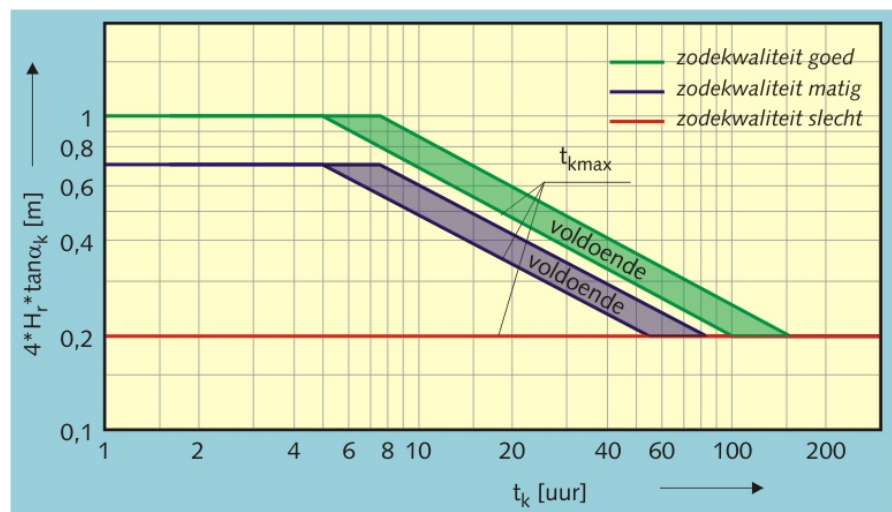
Als aan de voorwaarden wordt voldaan, wordt de toetsing voortgezet met stap 4.2. Als niet aan deze voorwaarden wordt voldaan, is de geavanceerde toetsing van stap 5 nodig. Benadrukt wordt dat het ook in dat geval verstandig is om, met het oog op beheer en benodigde voorzieningen, de rekentoetsing van stap 4.2 uit te voeren.

Stap 4.2: Gedetailleerde rekenmethode

De rekenmethode bestaat uit een vergelijking van de maatgevende belastingduur t_k met de maximaal toelaatbare belastingduur t_{kmax} . De toetsregel is weergegeven in Figuur 8 - 4.6. De formules zijn afkomstig uit [14].

De maatgevende belastingduur t_k staat op de horizontale as. Op de verticale as staat de belastingparameter $4H_r \tan \alpha_k$ (zie stap 4.1). De lijnen in de figuur geven de toelaatbare belastingduur weer voor een score 'goed' of 'voldoende', afhankelijk van de zodekwaliteit. Let op, het is dus niet zo dat een zodekwaliteit 'slecht' automatisch leidt tot een rekenscore 'onvoldoende'.

Figuur 8 - 4.6
Gedetailleerde rekenregel voor toetsing op Erosie door golfklap



De toelaatbare belastingduur voor een score 'voldoende' is 1,5 maal zo groot als voor een score 'goed'. Als de combinatie van belastingparameter en belastingduur leidt tot een punt in de grafiek rechts en boven de toepasbare lijn, is de tussenscore 'onvoldoende'; anders is de eindscore 'goed' of 'voldoende'. Bij een tussenscore 'onvoldoende' is geavanceerde toetsing nodig (zie stap 5).

Voor de bepaling van de belastingduur t_k wordt verwezen naar § 4.2.1 van dit katern. De bepaling van de zodekwaliteit (goed, matig of slecht) wordt behandeld in § 4.3.1 van dit katern en Bijlage 8 - 1.

Stap 5: Geavanceerde toetsing Erosie door golfklap

Als de Gedetailleerde methode niet toepasbaar is of leidt tot een tussenscore 'onvoldoende', is geavanceerde toetsing nodig. Daarbij kan de rekenmethode nader worden beschouwd (de Gedetailleerde methode is conservatief en gebaseerd op een beperkte hoeveelheid gegevens), maar ook de berekening van de belastingduur t_k kan wellicht worden aangescherpt. Bij de gedetailleerde toetsing geldt als uitgangspunt dat op alle niveaus de golfparameters bij Toetspeil + toeslagen (uit HR2006) worden gebruikt; het kan mogelijk zijn om in geavanceerde toetsing te werken met lagere golven bij lagere waterstanden.

4.4.4 Erosie door golfploop GEOP en Erosie door golfoverslag GEOV

In Figuur 8 - 4.7 is het toetschema voor Erosie door golfploop en Erosie door golfoverslag weergegeven. Allereerst wordt nagegaan of op basis van ervaringen met bewezen sterkte een score 'goed' kan worden toegekend aan locaties die zich op het buitentalud bevinden. Als dit niet kan, of de locatie is op de kruin of het binnentalud, wordt nagegaan of op basis van een lage belasting een score 'goed' kan worden toegekend. Als dit ook niet mogelijk is, wordt eerst gekeken of wordt voldaan aan de toepasbaarheidsvoorwaarden van de Gedetailleerde methode voor Erosie door golfploop en Erosie door golfoverslag; zo ja, dan wordt die methode doorlopen. Geavanceerde toetsing is nodig als niet wordt voldaan aan de toepasbaarheidsvoorwaarden, of bij een tussenscore 'onvoldoende' uit de Gedetailleerde methode.

Vooral in het rivierengebied kan de kleilaag zodanig vet zijn dat de wortels van het gras er nauwelijks in kunnen doordringen. De zodekwaliteit zal in zo'n geval 'slecht' zijn. Aangeraden wordt om ook in zo'n geval eerst de toplaag te toetsen op Erosie door golfploop; met name via stap 1 en 2 is ook in zo'n geval nog een eindscore 'goed' of 'voldoende' mogelijk. Als via stap 3.2 een score 'onvoldoende' wordt behaald, kan de toetsing conform het hoofdschema van Figuur 8 - 4.2 worden voortgezet met het spoor Erosie van de onderlagen GEO, waarin de vette kleilaag kan worden behandeld als een onderlaag, conform de definities in Figuur 8 - 4.1.

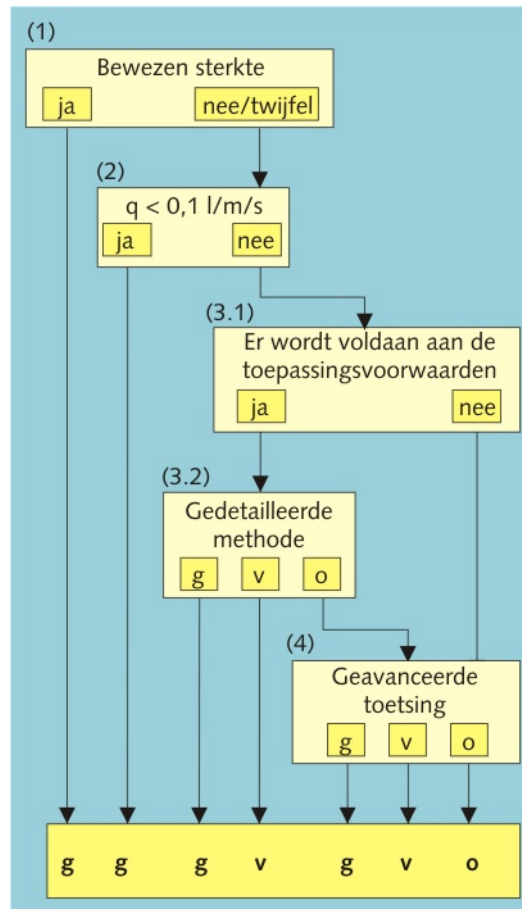
Stap 1: Bewezen sterkte

Deze stap behoeft alleen te worden doorlopen indien de te toetsen sectie zich op het buitentalud bevindt. Voor locaties op de kruin en het binnentalud wordt direct doorgedaan met stap 2.

De voorwaarden waaronder een score 'goed' op basis van bewezen sterkte kan worden gegeven zijn hetzelfde als voor Erosie door golfklap (zie stap 1 van § 4.4.3 van dit katern). In de praktijk zal de oploopzone minder vaak maatgevend zijn belast dan de golfklapzone. Zoals besproken in stap 1 van § 4.4.3 van dit katern is het echter ook toegestaan om bewezen sterkte in de klapzone toe te passen voor de grasbekleding in de oploopzone, mits de grasmat dezelfde kenmerken vertoont qua vegetatietype en kleisamenstelling (bij veel dijken is dat het geval) en mits de maatgevende belasting niet hoger is (bij dezelfde golfparameters en taludhelling is golfklap een zwaardere belasting dan golfploop).

Als de score 'goed' kan worden toegekend, wordt dit tevens de eindscore. Bij een tussenscore 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' moet afhankelijk van de locatie op het buitentalud verder getoetst worden met stap 2.

Figuur 8 - 4.7
 Beoordelingsschema voor Erosie door golfploop
 GEOP en Erosie door golfoverslag GEOV



Stap 2: Ondergrens belasting

Het gedeelte van het dijkprofiel (binnentalud, kruin en bovenste gedeelte van buitentalud), waar het oploop- of overslagdebiet q kleiner is dan of gelijk aan $0,1 \text{ l/m/s}$, wordt geacht de belasting te doorstaan zonder ontoelaatbare schade; de score is in dat geval 'goed'. Als hieraan niet wordt voldaan, wordt de toetsing voortgezet met stap 3. Het oplooppniveau behorend bij $q = 0,1 \text{ l/m/s}$ wordt berekend met behulp van de HYDRA-rekenmodellen (zie HR2006 [45]). Bij complexe geometrie van het talud moeten eerst de randvoorwaarden (Toetspeil + toeslagen en golfrandvoorwaarden) worden bepaald met de HYDRA-rekenmodellen op basis van waarvan het overslagdebiet met het rekenmodel PC-OVERSLAG berekend kan worden (zie ook Katern 4). De HYDRA-rekenmodellen en het rekenmodel PC-OVERSLAG gebruiken beiden de formuleringen uit het Technisch rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken [20], maar het rekenmodel PC-OVERSLAG heeft de mogelijkheid om een complexere geometrie (dan de HYDRA-rekenmodellen) toe te passen.

Stap 3: Gedetailleerde methode Erosie door golfploop en Erosie door golfoverslag

De gedetailleerde methode bestaat uit twee stappen. In stap 3.1 wordt nagegaan of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor de gedetailleerde methode. Als dat niet het geval is, is geavanceerde toetsing nodig. Stap 3.2 betreft de rekenmethode aan de hand van maatgevende en toelaatbare belastingduur.

Stap 3.1: Toepassingsvoorwaarden

Het toepasbaarheidsgebied van de gedetailleerde rekenmethode wordt bepaald door de erosiebestendigheidscategorie van de klei in de zode in combinatie met de graskwaliteit. De bepaling van de erosiebestendigheid van de klei en van de zodekwaliteit wordt behandeld in § 4.3.1 van dit katern.

De toepasbaarheidsvoorwaarden zijn als volgt:

- bij een zodekwaliteit ‘matig’ of ‘slecht’ is het maximaal toelaatbare zandgehalte van de klei in de zode 50%;
- bij een zodekwaliteit ‘goed’ is het maximaal toelaatbare zandgehalte van de klei in de zode 70%.

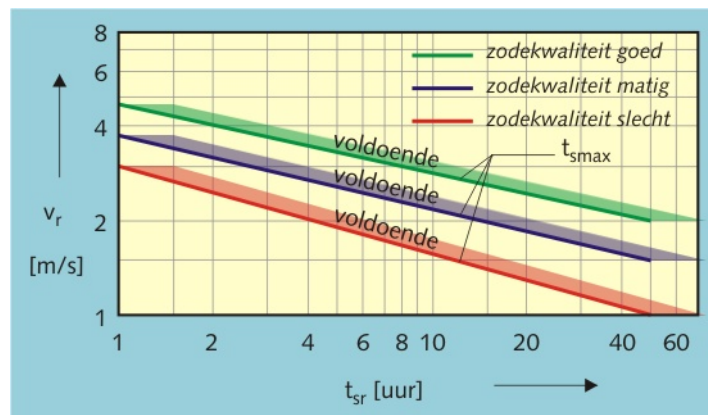
In het tweede geval kan overigens in stap 3.2 geen score ‘goed’ worden gehaald, maar ten hoogste een score ‘voldoende’; in de ontwerprichtlijnen voor grasbekledingen staat een maximaal zandgehalte van de klei in de zode van 50% (zie [22]).

Als aan de voorwaarden wordt voldaan, wordt de toetsing voortgezet met stap 3.2. Als niet aan deze voorwaarden wordt voldaan, is de geavanceerde toetsing van stap 4 nodig. Benadrukt wordt dat het ook in dat geval verstandig is om, met het oog op beheer en benodigde voorzieningen, de rekentoetsing van stap 3.2 uit te voeren. Met name als het zandgehalte van de klei in de zode tussen 50% en 70% ligt, is er een kans om een eindscore ‘voldoende’ te behalen door verandering van het beheertype.

Stap 3.2: Gedetailleerde rekenmethode

De rekenmethode bestaat uit een vergelijking van de rekenwaarde van de belastingduur t_{sr} met de maximaal toelaatbare belastingduur t_{smax} . De toetsregel is weergegeven in Figuur 8 - 4.8. De formules zijn afkomstig uit [14].

Figuur 8 - 4.8
Gedetailleerde rekenregel voor toetsing op Erosie door golfploop en golfoverslag



De maatgevende belastingduur t_{sr} staat op de horizontale as. Op de verticale as staat de belastingparameter v_r . De lijnen in de figuur geven de toelaatbare belastingduur weer voor een score ‘goed’ of ‘voldoende’, afhankelijk van de zodekwaliteit (G staat voor zodekwaliteit ‘goed’, M voor zodekwaliteit ‘matig’ en S voor zodekwaliteit ‘slecht’). De toelaatbare belastingduur voor een score ‘voldoende’ is 1,5 maal zo groot als voor een score ‘goed’. Als de combinatie van belastingparameter en belastingduur leidt tot een punt in de grafiek rechts en boven de toepasbare lijn, is de tussenscore ‘onvoldoende’ (waarna de geavanceerde toetsing van stap 4 nodig is); anders is de eindscore ‘goed’ of ‘voldoende’. Zoals al genoemd in stap 3.1 kan ten hoogste een eindscore ‘voldoende’ worden toegekend als het zandgehalte van de klei in de zode tussen 50% en 70% ligt; een rekenscore ‘goed’ wordt in dat geval dus omgezet in een eindscore ‘voldoende’.

De belastingparameter v_r is een rekenwaarde voor de oploopsnelheid ter plaatse van het te toetsen punt. De rekenwaarde bedraagt ongeveer de helft van de oploopsnelheid die bij 2% van de inkomende golven wordt overschreden. De waarde van v_r is afhankelijk van de golfparameters, de taludhelling en het niveau van het te toetsen punt ten opzichte van het Toetspeil + toeslagen en ten opzichte van het niveau waar de golfoploop is afgenomen tot 0,1 l/m/s. De formule is als volgt:

$$v_r = 700 \cdot H_s / T_p \cdot (0,085 - H_s / L_{0p}) \cdot (1 - z / z_q)^{0,5} \cdot \tan \alpha_o$$

waarin:

z	=	hoogte van het te toetsen punt op het buitentalud ten opzichte van Toetspeil + toeslagen	[m]
z_q	=	golfoploophoogte behorende bij een oploopdebiet q van 0,1 l/m/s op een oneindig lang talud met een helling gelijk aan het buitentalud, in dit geval berekend ten opzichte van Toetspeil + toeslagen (zie ook § 4.2.2 van dit katern)	[m]
L_{0p}	=	golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode T_p	m
α_o	=	gemiddelde hellingshoek over het gedeelte van het buitentalud tussen Toetspeil + toeslagen - $1,5 \cdot H_s$ en Toetspeil + toeslagen + $1,5 \cdot H_s$, rekening houdend met teen, berm en kruin (zie § 4.2.2 van dit katern)	[-]

De waarde van de belastingduur t_s voor het te toetsen punt wordt bepaald met behulp van § 4.2.2 van dit katern. Direct boven de klapzone is het buitentalud voortdurend 'nat'; verder naar boven zal het talud periodiek 'droog' staan. Hiervoor kan een correctie worden toegepast op de belastingduur t_s . De rekenwaarde voor de belastingduur t_{sr} wordt:

$$t_{sr} = (1 - z / z_q) \cdot t_s \text{ [uur]},$$

De bepaling van de zodekwaliteit (goed, matig of slecht) wordt behandeld in § 4.3.1 van dit katern en Bijlage 8 - 1.

De rekenwaarden v_r en t_{sr} worden voor kruin en binnentalud gelijk genomen aan de berekende waarde op de buitenkruinlijn.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Erosie door golfoploop en Erosie door golfoverslag

Als de Gedetailleerde methode niet toepasbaar is of leidt tot een tussenscore 'onvoldoende', is geavanceerde toetsing nodig. Daarbij kan de rekenmethode nader worden beschouwd (de Gedetailleerde methode is conservatief en gebaseerd op een beperkte hoeveelheid gegevens), maar ook de berekening van de belastingduur t_s kan wellicht worden aangescherpt. Bij de gedetailleerde toetsing geldt als uitgangspunt dat op alle niveaus de golfparameters bij Toetspeil + toeslagen (uit HR2006) worden gebruikt; het kan mogelijk zijn om in geavanceerde toetsing te werken met lagere golven bij lagere waterstanden.

4.4.5 Erosie van de onderlagen GEO

De bijdrage van de kleilaag aan de veiligheid van de waterkering wordt beschouwd als de 'reststerkte' van de grasmatt. De beoordeling op dit spoor loopt voor het buitentalud volgens de methode voor steenzettingen (zie § 2.4.6 van dit katern).

Stap 1 van het schema in Figuur 8 - 2.16 is niet relevant voor grasbekledingen, dus alleen stap 2 en 3 hoeven te worden doorlopen:

- in stap 2.1 wordt een score 'onvoldoende' gegeven als de kleilaag dunner is dan 0,4 m of de golfhoogte H_s groter is dan 2,0 m;

- in stap 2.2 kan een score 'voldoende' worden gegeven als de dijk een kleikern bevat en de benodigde reststerkte niet groter is dan 24 uur;
- stap 2.3 is de gedetailleerde beoordeling; met behulp van Tabel 8 - 2.1 wordt de aanwezige reststerkte bepaald als functie van erosiebestendigheid, laagdikte, golfhoogte en ligging t.o.v. gemiddeld hoogwater. Als deze waarde groter is dan de maatgevende belastingduur, is de score 'voldoende'; vanwege het conservatieve karakter van Tabel 8 - 2.1 kan op basis daarvan geen score 'onvoldoende' worden gehaald;
- in stap 3 kan een geavanceerde toetsing worden uitgevoerd, met een score 'voldoende' of 'onvoldoende' als resultaat.

Voor Erosie van de onderlagen in de ophoopzone (zone C) en in de overslagzone (zone D) bestaan geen eenvoudige of gedetailleerde rekenregels, zodat geavanceerde toetsing nodig is. Zie ook § 2.4.6 van dit katern. Specifiek voor zone D wordt opgemerkt, dat reststerkte alleen tot 'voldoende' mag leiden als erosie van de toplaag geen andere faalmechanismen initieert (via kruinverlaging, maar ook bijvoorbeeld macro-instabiliteit).

4.4.6 Afschuiving GAF

Er wordt in deze stap onderscheid gemaakt in de beoordeling van binnentalud en buitentalud.

Afschuiving buitentalud

De beoordeling op afschuiving op het buitentalud verloopt hetzelfde als bij steenzettingen (zie § 2.4.3 van dit katern).

De beoordeling staat in Figuur 8 - 2.10 en verloopt specifiek voor grasbekledingen als volgt:

- stap 1.1 en 1.2 zijn hetzelfde als voor steenzettingen: als de bekleding direct op een kleikern ligt, kan een score 'goed' worden gegeven; als zich vlak onder de bekleding een zandscheg bevindt is geavanceerde toetsing nodig;
- stap 1.3 is speciaal relevant voor grasbekledingen, met name in het rivierengebied: de score is 'goed' als de kleilaag (de totale dikte van de deklaag) groter is dan de golfhoogte H_s ;
- stap 1.4 is een tweede toepassingsvoorwaarde voor de gedetailleerde toetsing in stap 2: als de lokale taludhelling steiler is dan 1:2,7 is geavanceerde toetsing nodig;
- stap 2 betreft de gedetailleerde rekenregel, waarbij voor het gehele linkerlid van de vergelijking, $\Delta D + b_f + b_k$, ook hier de totale dikte van de deklaag (zie Figuur 8 - 4.1) wordt ingevuld. Een score 'goed' geldt als eindscore, anders is geavanceerde toetsing (stap 3) nodig.

Afschuiving binnentalud

Indien het overslagdebiet onder maatgevende omstandigheden groter is dan 0,1 l/m/s dient de stabiliteit van het binnentalud van de dijk of de dam te worden beoordeeld op overslaand water dat vervolgens infiltreert in het grondlichaam.

De wijze waarop het binnentalud instabiel kan worden door overslaand water is onder meer afhankelijk van de opbouw van het grondlichaam van de dijk of de dam. Globaal kunnen twee karakteristieke situaties worden onderscheiden:

- een grondlichaam dat bestaat uit een kleikern, afgedekt met een laag doorgroeide klei;
- een grondlichaam met een zandige kern, afgedekt met een kleilaag.

Benadrukt wordt dat de regels bij dit spoor dus ook toepasbaar zijn als het binnentalud niet met gras maar alleen met klei bekleed is.

Instabiliteit bij grondlichaam met kleikern

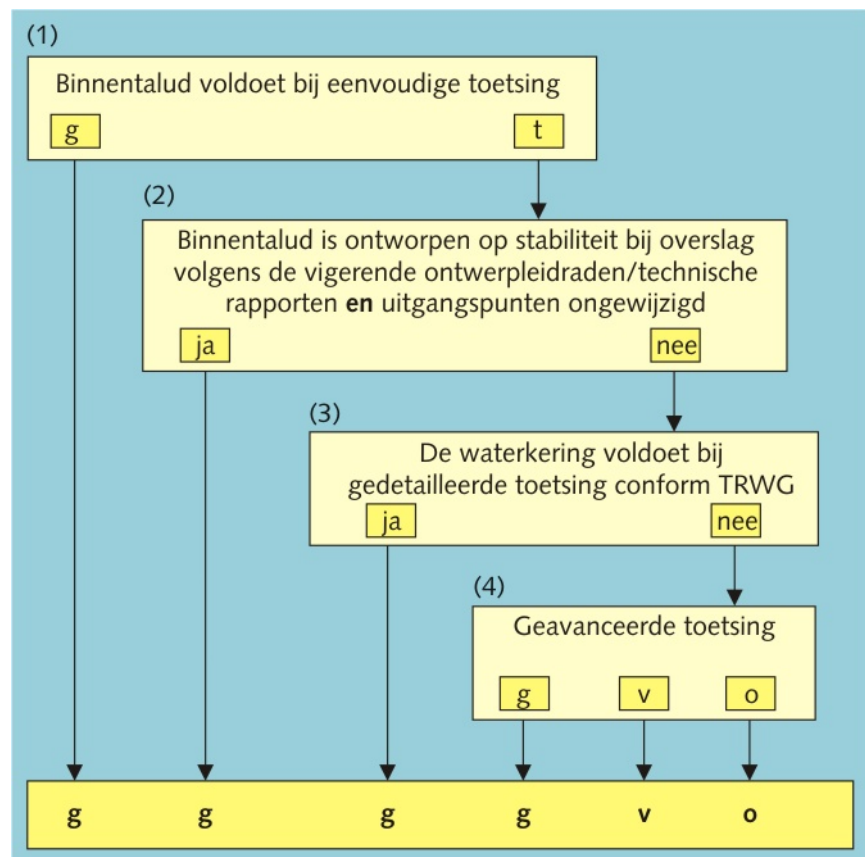
De doorlatendheid van de klei aan de oppervlakte is als gevolg van scheurtjes en wortelgroei hoger dan de doorlatendheid van de klei in de kern van het grondlichaam. Water dat bij overslag infiltreert in de toplaag zal door de afnemende doorlatendheid zorgen voor een toename van de waterspanning op de grens van de toplaag en de kern. Deze toename van waterspanning leidt tot een afname van de korrelspanning waardoor de toplaag in geval van een relatief steil talud kan afschuiven. Daarnaast kan de afdekkende toplaag door wateropname verweken wat eveneens een lokale taludafschuiving tot gevolg kan hebben.

Instabiliteit bij grondlichaam met zandige kern

Indien de kern van het grondlichaam een grotere doorlatendheid heeft dan de toplaag (in de richting loodrecht op het talud) kan infiltratie van overslaand water leiden tot een toename van het freatisch vlak in het grondlichaam. Een verhoging van het freatisch vlak kan leiden tot oppervlakkige afschuiving van de toplaag en/of tot uitspoeling van het zand onder de toplaag. Het fenomeen van uitspoeling is beschreven onder het beoordelingsspoor Microstabiliteit in Katern 5. Voor het onderscheid tussen de faalmechanismen micro-instabiliteit en instabiliteit bij overslag wordt verwezen naar Figuur 5 - 1.2 in Katern 5.

De beoordeling van stabiliteit bij overslag volgt het schema in Figuur 8 - 4.9. Dit schema is geheel overeenkomstig met de schema's voor niet aan overslag gerelateerde stabiliteitsbeoordelingen uit Katern 5.

Figuur 8 - 4.9
Beoordelingsschema Afschuiving GAF voor het binnentalud



Stap 1: Eenvoudige toetsing Afschuiving binnentalud

In stap 1 wordt getoetst aan de hand van eenvoudige criteria voor het overslagdebiet en de taludhelling:

- als het overslagdebiet 0,1 l/m/s of kleiner is, is de eindscore 'goed';
- als de taludhelling van het binnentalud 1V:4H of flauwer is, is de eindscore 'goed'.

Wordt niet aan één van de twee voorwaarden voldaan dan is de tussenscore 'twijfelachtig' en wordt de toetsing voortgezet met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

In stap 2 wordt nagegaan of in het ontwerp rekening is gehouden met instabiliteit door overslag en of het ontwerp is gebaseerd op vigerende ontwerpleidraden en/of technische rapporten waarbij wordt geverifieerd of de destijds gehanteerde ontwerputgangspunten nog van kracht zijn.

Naar aanleiding van de watersnoodramp in 1953, waar vele Zeeuwse dijken zijn bezweken door het afschuiven van het binnentalud onder invloed van overslag, is het in de huidige ontwerppraktijk gebruikelijk de kruinhoogte voldoende hoog te kiezen zodat er geen rekening hoeft te worden gehouden met instabiliteit door overslag. De controle of het overslagdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s is onderdeel van stap 1. Indien de waarde van 0,1 l/m/s wordt overschreden en er in het ontwerp geen rekening is gehouden met instabiliteit door overslag, dient verder te worden getoetst volgens stap 3. Als wel rekening is gehouden met overslag, is de eindscore 'goed'.

Stap 3: Gedetailleerde toetsing Afschuiving binnentalud

In het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] zijn rekenregels gegeven voor het beoordelen van de stabiliteit bij overslag.

Voor een dijk of dam met kleikern kan de stabiliteit worden beoordeeld op basis van een eenvoudig criterium voor grondwaterstroming evenwijdig aan het talud. Bij een gunstig resultaat is de eindscore 'goed'.

Indien niet wordt voldaan aan dit criterium of indien er sprake is van een zandkern, kan een stabiliteitsanalyse worden uitgevoerd waarbij een veilige aanname moet worden gedaan voor het verloop van de waterspanningen bij overslag en infiltratie. Door het freatische vlak gelijk te kiezen aan het binnentalud worden de waterspanningen op een veilige manier geschematiseerd. Voor zanddijken is een dergelijke aanname erg conservatief en kan het lonend zijn om de opzet van het freatische vlak door middel van een grondwaterstromingsmodel te bepalen. Opgemerkt moet worden dat grondwaterstromingsberekeningen gevoelig zijn voor de schematisatie van bodemlagen en de te kiezen randvoorwaarden. Onzekerheden dienen door veilige schematisatie te worden afgedekt. Indien de berekende stabiliteitsfactor voldoet aan de vereiste waarde volgens vigerende TAW-leidraden of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16], dan is de eindscore 'goed'. Zo niet dan dient verder te worden gegaan met stap 4.

Stap 4: Geavanceerde toetsing Afschuiving binnentalud

In bepaalde gevallen kan een geavanceerde toetsing alsnog leiden tot een score 'goed' of 'voldoende'. Een geavanceerde toetsing zal in veel gevallen betrekking hebben op het bepalen van waterspanningen in de toplaag en kern van de dijk of dam bij overslag. Het is verstandig om als eerste deelstap van een geavanceerde toetsing na te gaan of geavanceerde toetsing zin heeft en welke methodes in aanmerking komen. Ook voor deze eerste deelstap is specialistische kennis nodig.

Gedacht kan worden aan:

- nauwkeuriger mechanismedescriptie;
- geavanceerde niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen;
- geavanceerde proeven of meettechnieken.

Bijlage 8 - 1: Kwaliteit graszode

Er zijn drie methodes voor de bepaling van de zodekwaliteit: op basis van het beheertype, de vegetatiesamenstelling of de doorworteling. Deze drie methodes worden achtereenvolgens besproken.

B1.1 Bepaling zodekwaliteit op basis van beheertype

De sterkte wordt bepaald door de kwaliteit van de zode en de erosiebestendigheid van de klei. De zodedichtheid en de worteldichtheid worden direct beïnvloed door het graslandbeheer. Het beheer is gericht op een in waterstaatkundig opzicht voldoende gesloten en doorwortelde grasmat. Op basis van een vegetatieonderzoek is een onderverdeling gemaakt in beheervormen. Deze zijn met hun hoofdkenmerken gespecificeerd in Tabel 8 - B1.1. Hierbij zijn de hoogte van de mestgift en de mate van onderhoud (maai- en afvoerregiem) cruciaal. De tabel geeft samenvattende informatie met betrekking tot de kwaliteit van de grasmat als functie van de beheervorm, zodedichtheid en worteldichtheid.

De praktijk wijst uit dat met name dijkhellingen op het noorden vatbaar zijn voor mosgroei, waardoor de werkelijke zodekwaliteit aanmerkelijk ongunstiger kan zijn dan uit het beheertype zou volgen. Voor dergelijke taluds wordt aanbevolen om de zodekwaliteit te bepalen op basis van de doorworteling (zie § B1.3).

Ter nadere toelichting op Tabel 8 - B1.1 geldt het volgende:

Categorie A

Kenmerkend voor categorie A is dat bemesting en gebruik van herbiciden achterwege blijven. Dit beheer leidt tot goed erosiebestendige grasbekledingen.

Hooien

Dit houdt in principe in dat twee keer per jaar wordt gemaaid. In voedselarme situaties kan worden volstaan met jaarlijks éénmaal maaien; deze situatie kan ontstaan als gevolg van jarenlang consequent hooibeheer. In voedselrijke situaties (bijvoorbeeld door jarenlang intensief agrarisch beheer) of enkele jaren na aanleg kan driemaal per jaar maaien nodig zijn. Kenmerkend voor hooien is dat na iedere keer maaien het maaisel steeds wordt afgevoerd.

Beweiden

Dit houdt in dat periodiek of continu wordt beweid met schapen. De hoeveelheid schapen is steeds afgestemd op de productie van het gras. Bij continu beweiden wordt het gehele groeiseizoen (van half april tot half oktober) beweid met een lage veedichtheid. Daarnaast moet worden gemaaid op plaatsen waar de vegetatie niet is afgegraasd. Bij periodiek beweiden wordt in het voorjaar gehooid en in het najaar beweid. Een andere manier is twee tot vier maal per jaar periodiek en intensief te beweiden. Eventueel onbegraasde delen moeten worden gemaaid. Bijvoeren heeft vergelijkbare effecten als bemesten en wordt daarom achterwege gelaten.

Tabel 8 - B1.1
Kenmerken beheertypes grasland

Toegepast type graslandbeheer	Enkele kenmerken van de zodedichtheid		Resulterende kwaliteit van de zode
	Bedekking	Doorworteling	
Hooien zonder bemesting (A)	> 70%	veel dikke en dunne wortels in laag 0 - 0,15 m	Goed
Beweiding (B) Bemesting max. 70 kg N/ha of 7 - 8 × maaien zonder bemesting (gazonbeheer)	> 85%	veel dunne wortels in laag 0 - 0,08 m	Matig
Beweiding (C) Bemesting > 70 kg N/ha; herbiciden	>85%	weinig dunne wortels in laag 0 - 0,05 m	Slecht
Hooien (D) Met bemesting; of maaien zonder afvoer	< 60%	enkele dikke wortels in laag 0 - 0,15 m	Slecht

kg N = massa nitraat

A, B, C en D zijn beheersclassificaties voor de kwaliteit van de grasmat:

- (A) hoort bij waterstaatkundig of natuurtechnisch beheer.
- (B) hoort bij aangepast (extensief) agrarisch beheer.
- (C) hoort bij intensief agrarisch beheer of bij regelmatig en intensief belopen.
- (D) hoort bij maaien zonder afvoer of slecht onderhoud.

Categorie B

Tot categorie B behoort aangepast agrarisch beheer. Dit leidt tot matig erosiebestendige grasbekledingen. Het beheer bestaat uit beweiding met schapen, continu of periodiek. Er wordt lichte bemesting (tot 70 kg N per jaar) toegepast. Het verschil met beheercategorie A is deze bemesting en de daarmee samenhangende grotere veedichtheden. In deze categorie hoort ook gazonbeheer thuis. Dat is een beheer dat bestaat uit jaarlijks 7 tot 12 keer maaien, waarbij het maaisel niet wordt afgevoerd. Hier blijft bemesting achterwege. Gazonbeheer leidt tot soortenarme beemdgras-raaigrasweide.

Categorie C

Beheercategorie C leidt tot grasmatkwaliteit slecht. Hieronder vallen intensieve agrarische beheervormen (beweiding), gekenmerkt door vrij zware bemesting. Het resultaat is een slecht tot matig erosiebestendige grasbekleding. Dat betekent dat de erosiebestendigheid (deels) moet worden ontleend aan de grond in en onder de zode.

Categorie D

Zeer slecht erosiebestendige bekledingen ontstaan bij het achterwege blijven van jaarlijks beheer, bij jaarlijks één- tot viermaal (klepel)maaien zonder afvoer van het maaisel, bij beweiding met runderen en paarden en bij zeer zware bemesting en overbeweiding. Deze vormen van beheer zijn niet geschikt voor waterkerende dijken.

B1.2 Bepaling zodekwaliteit op basis van vegetatiesamenstelling

Als het beheertype niet duidelijk is of als de beheerder een afwijkende kwaliteit van de grasbekleding verwacht, dan moet de kwaliteit van de graszode worden vastgesteld aan de hand van de vegetatiesamenstelling.

Ook hier wordt opgemerkt dat met name dijkhellingen op het noorden vatbaar zijn voor mosgroei, en dat voor dergelijke taluds wordt aanbevolen om de zodekwaliteit te bepalen op basis van de doorworteling (zie § B1.3).

Eerst wordt via de soortensamenstelling van de grasmat het vegetatietype bepaald. Gezien de sterke koppeling tussen vegetatie en beheer kan aan de hand van de soortensamenstelling het gevoerde type beheer worden bepaald, en zoals besproken in § B1.1 van deze Bijlage volgt daaruit een eerste schatting van de zodekwaliteit.

De eerste schatting van de zodekwaliteit wordt vervolgens nog gecheckt aan de actuele bedekkingsgraad en, indien gewenst voor opwaardering van de toetscore, de aanwezige worteldichtheid (zie § B1.3).

Het bepalen van de effecten van de wijze van beheren van een grasmat is eigenlijk een continu volproces. Voor een correcte vergelijking van resultaten is echter de keuze van het tijdstip van de monitoring belangrijk, omdat de sterkte van de grasmat varieert door het jaar heen. De meest geschikte periode voor vegetatie-opname is mei/juni vanwege de herkenbaarheid van de vegetatie.

De eerste schatting van de kwaliteit van de graszode gebeurt met behulp van Tabel 8 - B1.2. Het vegetatietype staat in de linkerkolom, het bijbehorende beheertype daarnaast en de eerste schatting van de zodekwaliteit uiterst rechts. De tussenliggende kolommen 'bedekking' en 'worteldichtheid' zijn informatief.

De bedekkingsgraad is nog van invloed op de zodekwaliteit uit Tabel 8 - B1.2:

- voor W2 en H2 geldt:
 - als de bedekking < 70%, dan is de kwaliteit van de graszode 'matig';
 - als de bedekking < 70%, dan is de kwaliteit van de graszode 'slecht';
- voor W3 en H3 geldt:
 - als de bedekking > 70%, dan is de kwaliteit van de graszode 'goed';
 - als de bedekking < 70%, dan is de kwaliteit van de graszode 'slecht'.

Voor de overige soorten geldt geen aanpassing van de zodekwaliteit op grond van de bedekkingsgraad. Wanneer de nu resulterende zodekwaliteit 'slecht' of 'matig' is of wanneer de aanwezige vegetatie niet in één van de beschreven categorieën past, kan worden vervolgd met het beoordelen van de doorworteling.

B1.3 Bepaling zodekwaliteit op basis van doorworteling

De werkelijk aanwezige worteldichtheid kan reden zijn om een zodekwaliteit 'slecht' of 'matig' op te waarden. Aangezien de doorworteling gerelateerd is aan het vegetatietype zal het meten van de doorworteling echter de score zelden verbeteren. Een mogelijke uitzondering hierop is de zode onder bomen, waar de grasmat weliswaar verzwakt kan zijn door beschaduwing maar de worteldichtheid wordt verhoogd door het wortelstelsel van de boom.

Tabel 8 - B1.2
Dijkgraslandtypes in relatie tot het beheer

Vegetatietype	Beheertype	Bedekking	Worteldichtheid	Kwaliteit graszode
<p>P: Pioniervegetatie (< 4 jaar) Soortenarme pioniergemeenschap op pas ingezaaide dijken. <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Kweek, Engels raaigras, Straatgras, Herderstasje, Akkerdistel, Echte Kamille, Krulzuring, Vogelmuur, Witte klaver, Klein kruiskruid</i></p>	D	Matig - slecht	Slecht	Slecht
<p>Weiland</p> <p>W1: Beemdgras-raaigrasweide Soortenarm productieweiland, bemest en intensief beweide, gebruik van herbiciden <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Engels raaigras, Kroppaar, Kweek, Fioringras, Kruiptertje, Rietzwenkgras, Zachte dravik, Paardebloem, Gewone hoornbloem, Vogelmuur, Herderstasje</i></p> <p>W2: Soortenarme kamgrasweide Relatief soortenarm, onbemest tot licht bemest, periodiek weiden met schapen, incl. bloten. Ook gazonbeheer. <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Engels raaigras, Rood zwenkgras, Fioringras, Kamgras, Zachte dravik, Gewoon duizendblad, Madeliefje, Zachte ooievaarsbek, Gewone hoornbloem, Kleine klaver, Witte klaver</i></p> <p>W3: Soortenrijke kamgrasweide Relatief soortenrijk, onbemest, periodiek weiden met schapen, incl. bloten <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Rood zwenkgras, Fioringras, Kamgras, Engels raaigras, Gewoon struisgras, Zachte dravik, Goudhaver, Gewoon duizendblad, Madeliefje, Kleine leeuwetand, Hopklaver, Smalle weegbree, Kleine klaver, Witte klaver, Knolboterbloem, en vele andere kruiden</i></p>	D/C	Goed	Slecht	Slecht
<p>Hooiland</p> <p>R: Ruig hooiland Verruigd, soortenarm glanshaver-hooiland, geklepelmaaid <u>Kenmerkende soorten:</u> (Groot aandeel ruigtekruiden) <i>Kweek, Kroppaar, Glanshaver, soms Grote Vossestaart, Akkerdistel, Bereklaauw, Hondsdraf, Veenwortel, Grote brandnetel</i></p> <p>H1: Soortenarm hooiland Bemest hooiland <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Kweek, Glanshaver, Rietzwenkgras, Kroppaar, Engels raaigras, Ruw beemdgras, Madeliefje, Kruipe boterbloem, Paardebloem, Witte klaver</i></p> <p>H2: Minder soortenarm hooiland Minder soortenarm, minder ruig, onbemest. Onregelmatig gehoooid hooiland, of regelmatig gehoooid (herstelbeheer) <u>Kenmerkende soorten:</u> <i>Glanshaver, Kroppaar, Ruw beemdgras, Rietzwenkgras, Kweek, Rood zwenkgras, Gestreepte witbol, Fluiterkruid, Akkerdistel, Peen, Gevlekte rupsklaver, Smalle wikke, Witte klaver, Scherpe boterbloem, Smalle weegbree, Duizendblad</i></p> <p>H3: Soortenrijk hooiland Langdurig onbemest hooien <u>Kenmerkende soorten:</u> Gevarieerd grassenbestand, veel kruiden: <i>Glanshaver, Rood zwenkgras, Veldbeemdgras, Fioringras, Gestreepte witbol, Reukgras, Goudhaver, Kamgras, Veldgerst, Duizendblad, Peen, Knoopkruid, Echte kruisdistel, Gevlekte rupsklaver, Vijfvingerkruid, Knolboterbloem, Viltig kruiskruid, Rode klaver, Smalle wikke, Margriet, Echt walstro (e.a.)</i></p>	D	Zeer slecht, veel open plekken	Slecht, heterogeen	Slecht
	D	Slecht	Slecht	Slecht
	B	Matig	Matig	Matig
	A	Redelijk	Goed	Goed

In de tabel wordt de relatie tussen beheer, vegetatietype en sterkteparameters weergegeven. Voor elk vegetatietype worden indicatorsoorten gegeven. de belangrijkste indicatoren zijn vetgedrukt. (Sprangers & Arp [12]).

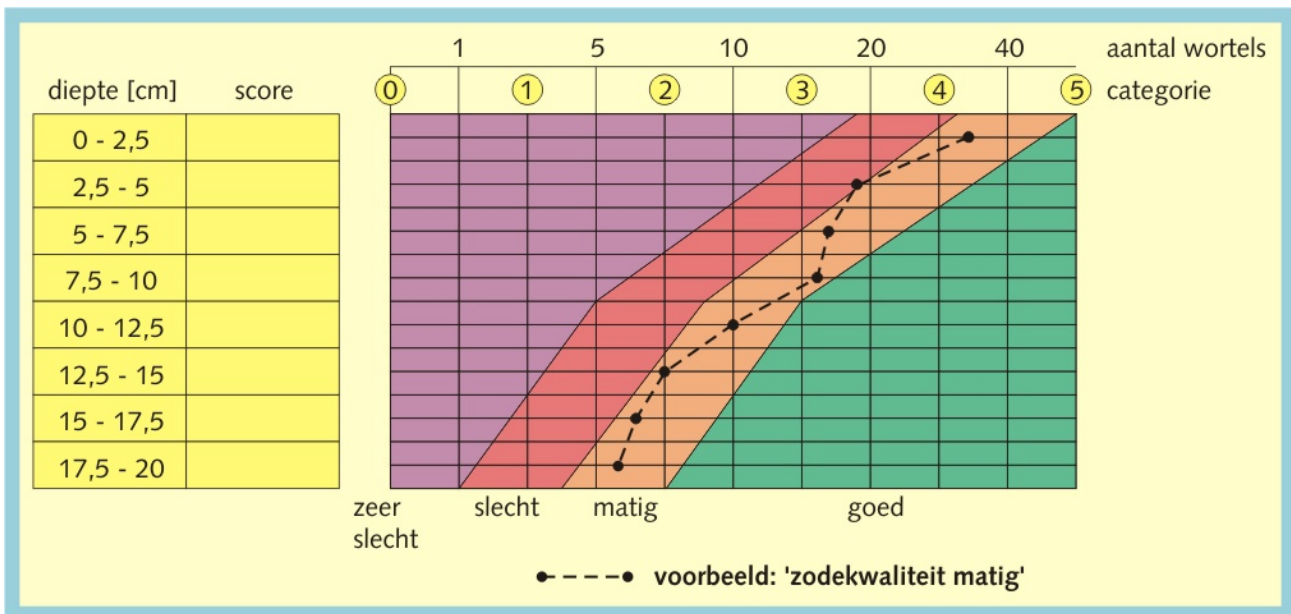
Het meten van de worteldichtheid gebeurt op de volgende wijze: op vier plaatsen in een proefvak van 5 bij 5 m wordt een wortelmonster gestoken met een grondboor (diameter 3 cm). De bovenste 20 cm van het monster wordt met een mes opgedeeld in partjes van 2,5 cm. Het aantal wortels in elk stukje wordt geteld, waarbij het gaat om duidelijk zichtbare wortels met een lengte van tenminste 1 cm. Het aantal wortels geeft aan in welke categorie de worteldichtheid van het betreffende stukje valt (zie Tabel 8 - B1.3).

Tabel 8 - B1.3
Worteldichtheden

Categorie	Worteldichtheid
0	Geen wortels
1	1 - 5 wortels
2	6 - 10 wortels
3	11 - 20 wortels
4	21 - 40 wortels
5	> 40 wortels

De categorie is alleen een maat voor de worteldichtheid, en geeft nog geen kwaliteitsoordeel. Dit hangt af van de diepte. Zo betekent categorie 2 op 20 cm diepte redelijk veel wortels, maar voor de bovenste 2,5 cm zijn dit zeer weinig wortels. Figuur 8 - B1.1 wordt gebruikt om de hoeveelheid wortels per laag te vertalen naar een kwaliteitsoordeel. In de figuur wordt per bodemlaag de gemiddelde worteldichtheid voor 3 of 4 steken aangegeven met een punt (zie voorbeeld). De acht punten van de verschillende bodemdieptes vallen nu in vier mogelijke klassen: 'zeer slecht', 'slecht', 'matig' en 'goed'. Hiermee is de worteldichtheid gecorrigeerd voor bodemdiepte.

Figuur 8 - B1.1
Zodekwaliteit als functie van de doorworteling



Meestal zullen door deze correctie de meeste punten van het profiel in één gebied vallen, waarmee de worteldichtheid-score voor het hele profiel bekend is. Deze score is dan tevens de zodekwaliteit. De zodekwaliteit 'zeer slecht' zal dan in de meeste gevallen duiden op het beheertype D.

Het is mogelijk dat de worteldichtheid in het bodemprofiel niet het verwachte patroon volgt, maar dat de doorworteling vooral is geconcentreerd in de bovenste bodemlaag of juist weinig afneemt met diepte. Bij minimaal twee afwijkende punten geldt de laagste score over de laag van 20 cm.

Het eventuele wortelonderzoek vindt plaats tussen medio december en medio maart. Als dat niets oplevert, kan het beste specialistisch advies worden ingewonnen.

Bijlage 8 - 2: Erosiebestendigheid klei in de zode

In lijn met Technisch Rapport Eisen klei voor dijken [10] worden drie categorieën onderscheiden voor de erosiebestendigheid van klei. De categorisering vereist het uitvoeren van classificatieproeven. Hiervoor worden drie moeilijkheidsgraden onderscheiden:

- I. ter plaatse, op de hand en met het oog;
- II. ter plaatse, met eenvoudige hulpmiddelen;
- III. beproeven van grondmonsters in een laboratorium.

Uit de materiaalparameters bepaalt men de erosiebestendigheid van de klei in de zode volgens Tabel 8 - B2.1.

Tabel 8 - B2.1

Categorie-indeling klei in de zode

Categorie	Criteria
c1 Erosiebestendig	<ul style="list-style-type: none"> • $W_1 > 45\%$ én • $I_n > 0,73 \cdot (W_1 - 20)\%$ én • $Z_k < 40\%$
c2 Matig erosiebestendig	<ul style="list-style-type: none"> • $W_1 < 45\%$ én • $I_n > 18\%$ én • $Z_k < 40\%$
c3 Weinig erosiebestendig	<ul style="list-style-type: none"> • $I_n < 0,73 \cdot (W_1 - 20)\%$ en/of • $I_n < 18\%$ en/of • $Z_k > 40\%$

waarin:

W_1	=	vloegrens	[%]
I_p	=	plasticiteitsindex	[%]
Z_k	=	zandgehalte = massapercentage korrels met een diameter van 63 μ m tot 2 mm	[%]

I Ter plaatse, op de hand en met het oog

Deze categorisering is nogal onnauwkeurig. Daarom wordt uit veiligheidsoverwegingen gesteld, dat bij deze methode slechts de categorieën c2 en c3 mogen worden onderscheiden.

De methode verloopt in een aantal stappen:

1. neem voldoende monsters. Wrijf het materiaal tussen de vingers. Voel en kijk of het uitgesmeerde materiaal ruw, melig of glad is;
2. benoem de grond dan als zand, silt of klei, al of niet met bijmengingen: bijvoorbeeld als sterk zandige, siltige klei. Belangrijk is een schatting van het zandgehalte;

3. categoriseer de grond. Een richtlijn voor de categorisering is het geschatte zandgehalte. Kleig zand en sterk zandige klei behoren tot categorie c3. Kleien mogen op deze manier niet beter worden beoordeeld dan categorie c2. Voor de kwaliteit geldt dan: matig erosiebestendig. Zeer vette kleien vallen in de zode in categorie c2 (terwijl ze in de klei onder de zode bij twijfel in categorie c3 moeten worden ingedeeld). Motief voor deze indeling is de koppeling van de sterke structurelementen door wortels.

II Ter plaatse, met eenvoudige hulpmiddelen

Deze categorisering is nauwkeuriger dan methode I. Daarom worden hierbij alle drie de categorieën (zie Tabel 8 - B2.2) onderscheiden.

De methode verloopt in twee stappen:

1. neem per hectare te toetsen grasmat minimaal 5 (geroerde) grondmonsters uit de zode; selecteer daarvoor de op het oog zwakke plekken. In het algemeen voldoet een diepte van 2 tot 7 cm;
2. stel per monster de erosiebestendigheidscategorie vast met de hierna genoemde methode.

Het op deze wijze beoordelen van de kwaliteit van de grond, mits voldoende in de praktijk beoefend en bij voortdurend voldoende geijkt met methode III, kan aan de hand van een aantal karakteristieken per categorie worden uitgevoerd.

De grond behoort tot de categorie c1 (erosiebestendig) als respectievelijk:

- de grond in geroerde vochtige toestand (maar niet nat) erg kleverig is, dat wil zeggen aan de vingers blijft kleven en meer of minder aan elkaar blijft zitten als de vingers voorzichtig vaneen getrokken worden;
- cirkels gemaakt kunnen worden van ongeveer 40 mm lange rolletjes met een diameter van ongeveer 4 mm zonder dat de rolletjes gemakkelijk breken, als het vochtgehalte niet te laag dan wel te hoog is (hiervoor is enig experimenteren met vochtgehalte van de grond nodig);

De grond behoort tot de categorie c3 (weinig erosiebestendig) als respectievelijk:

- de grond op het oog voornamelijk uit zandkorrels bestaat;
- de grond weinig kleverig is (er blijft weinig of geen grond aan de vingers hangen na knijpen in de grond);
- de grond niet goed tot een balletje of draadje te kneden is (met uitzondering van harde droge grond);
- de grond relatief snel (binnen enige minuten) opdroogt als het op de handpalm wordt heen en weer gewreven en gekneed, waarbij de grond vaak in poeder of in korreltjes uiteen valt.

De grond behoort tot de categorie c2 (matig erosiebestendig) als hij niet duidelijk in c1 of c3 valt.

Het zandgehalte van de kleigrond kan met een eenvoudige in het terrein uitvoerbare test op ongeveer 5% nauwkeurig worden geschat. De procedure daarbij is als volgt:

- steek een volume van 10 cc grond; let erop dat er geen grote poriën in de grond zitten;
- verkruimel de grond in een 50 cc maatliter;
- voeg 40 cc water met enige druppels niet schuimend vaatwasmiddel toe en schud de cilinder tot alle grond is gedispergeerd (controle achteraf door na te gaan of er geen kleibrokjes zijn achtergebleven);
- zet de cilinder op een rustige plek en laat een tiental minuten bezinken;
- bepaal het aantal cm^3 zand in de cilinder door de ligging van het grensvlak tussen grovere en fijne deeltjes;
- de afgelezen hoeveelheid zand is ongeveer gelijk aan de gewichtsfractie zand in het monster.

III Beproeven van grondmonsters in een laboratorium

Deze categorisering is de nauwkeurigste van de drie en verloopt als volgt:

1. Neem per hectare te toetsen grasmat minimaal vijf (geroerde) grondmonsters van tenminste 1 kg uit de zode; selecteer daarvoor de op het oog zwakke plekken. In het algemeen voldoet een diepte van 2 tot 7 cm.
2. Beproof de monsters afzonderlijk volgens de in [10] genoemde procedure.
3. Uit de materiaalparameters bepaalt men de erosiebestendigheidscategorie van de klei in de zode volgens Tabel 8 - B2.3.

Katern 9

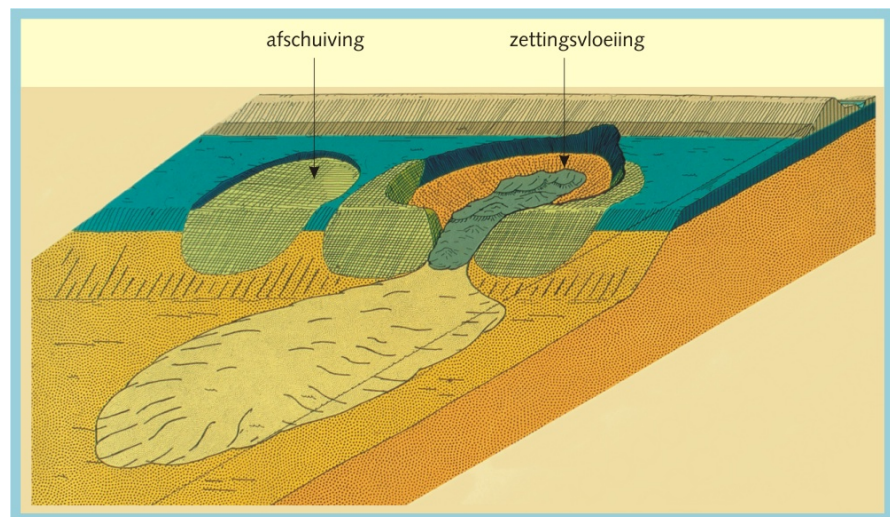
Voorland

1 Inleiding

1.1 Waarom is het voorland van belang?

Bij de beveiliging tegen hoogwater wordt meestal de stabiliteit van de waterkering zelf bekeken. Ook buiten de invloedzone van de waterkering is een aantal mechanismen van belang, die de waterkering kunnen bedreigen. Hieronder valt een aantal mechanismen op het voorland, die tot een inscharing tot in of vlakbij de waterkering kunnen leiden, waardoor de standzekerheid in gevaar kan komen. In de Katern 5 en Katern 7 is de toetsing van het voorland opgenomen als het aparte beoordelingsspoor STVL, met een verwijzing naar dit katern. In dit kader zijn twee mechanismen van belang: afschuiving en zettingsvloeiing. Op deze twee mechanismen wordt in dit katern ingegaan. Figuur 9 - 1.1 geeft een schets van beide mechanismen.

Figuur 9 - 1.1
Zettingsvloeiing en afschuiving voor een dijk



Andere gebeurtenissen op het voorland die bedreigend zijn voor de stabiliteit van het dijklichaam zijn het wegvallen van het belastingreducerend effect van het voorland door:

- het geheel of gedeeltelijk verdwijnen van stroomgeleidende en/of golfbrekende constructies;
- het verwijderen of eroderen van afsluitende (slib)lagen, waardoor de kwellingte wordt verkort;
- erosie van een hoog en/of breed voorland.

De controle op de eerste twee gebeurtenissen valt onder het normale beheer. De laatstgenoemde wordt verdisconteerd bij het in rekening brengen van de randvoorwaarden, door een fictief 'afslagprofiel' te beschouwen (zie hoofdstuk 3 van Katern 10). Ook wordt hiermee rekening gehouden bij de toetsing van teenconstructies (zie hoofdstukken 2 en 3 van Katern 8). Sommige dammen en kunstwerken hebben aan twee zijden een voorland waar deze gebeurtenissen een rol kunnen spelen.

1.2 Afschuiving

Afschuiving is een mechanisme dat optreedt indien de kritieke schuifspanning in een bepaald vlak (al dan niet recht) in de grond wordt overschreden. Afschuivingen kunnen optreden bij een vooroever die is opgebouwd uit samenhangende grond zoals klei en veen, maar ook bij al dan niet zettingsvloeiinggevoelig zand en zelfs bij bestorte oevers.

Aanleidingen voor een afschuiving zijn:

- een versteiling of verdieping in het dwarsprofiel, ontstaan door erosie van de geul of geulwand of sedimentatie op het voorland;
- vermindering van de weerstand tegen afschuiving door snelle val van de buitenwaterstand of hogere belasting bij gedeeltelijk droogvallen van het voorland tijdens extreem laagwater;
- het aanbrengen van een bovenbelasting.

1.3 Zettingsvloeiing

Zettingsvloeiing is een mechanisme waarbij een met water verzadigde massa zand zeer grote verplaatsingen ondergaat oftewel 'vloeit' als gevolg van verweking. Verweking van zand in een talud wordt veroorzaakt door een ongunstige combinatie van losse pakking en taludgeometrie. Er is ook een aanleiding nodig: de verweking treedt op na een (soms zeer kleine) schuifspanningstoename waarbij door een herschikking van het korrelskelet (volumeverkleining) een zodanige verhoging van de waterspanning in de poriën ontstaat, dat de contactdruk tussen de korrels onderling belangrijk wordt verminderd en de zandmassa zich als een zware vloeistof gaat gedragen; het gevolg is zettingsvloeiing. De aanleiding tot een zettingsvloeiing kan zijn:

- versteiling onderwatertalud of verdieping van de geul door erosie;
- het aanbrengen van een ophoging of bovenbelasting, of aanzanding van het bovendee van het profiel;
- trillingen als gevolg van bijvoorbeeld heien, trillen, explosies, aardbevingen, scheepsaanvaringen, zuigwerkzaamheden en geluidstrillingen door bijvoorbeeld house parties;
- golfbelasting tijdens bijvoorbeeld een (zware) storm; deze belasting veroorzaakt spanningswijzigingen en deformaties van het korrelskelet in de bodem (golfindringingsproces) die zodanig ongunstig kunnen zijn dat het zand verweekt en er een vloeiing kan ontstaan;
- snelle val van het buitenwater of extreem laagwater of groot getijverschil;
- afschuiving.

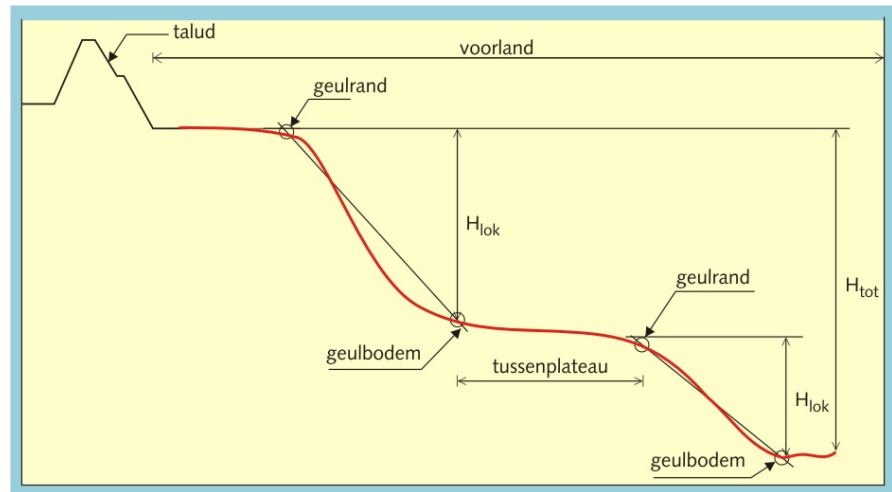
1.4 Vergelijking afschuiving en zettingsvloeiing

Er is een duidelijk verschil tussen een zettingsvloeiing en een afschuiving, hoewel er zich tussen beide verschijnselen een grijs gebied bevindt. Grondmechanisch gezien ontstaat een zettingsvloeiing door een wateroverspanning in de grond oftewel door verweking, terwijl een afschuiving het gevolg is van overschrijding van de schuifweerstand van de grond. Een afschuiving kan wel de aanleiding zijn tot het ontstaan van een zettingsvloeiing. Een groot verschil tussen een zettingsvloeiing en een afschuiving is de mogelijke omvang van de schade, bij een zettingsvloeiing is de schade doorgaans veel groter.

1.5 Definities

Kenmerkende onderdelen van een dijkprofiel en het aansluitende voorland worden in deze paragraaf gedefinieerd. In Figuur 9 - 1.2 staat een definitieschets van een dijk met voorland en geul. In de schets zijn twee lokale taludhoogtes (H_{lok}) en één totale taludhoogte (H_{tot}) te onderscheiden. Als er een tussenplateau aanwezig is dat voldoende breed is, zal alleen de bovenste lokale geuldiepte criteria geven die van invloed zijn op de stabiliteit van de dijk. Als het tussenplateau niet voldoende breed is, geeft de totale geuldiepte de criteria voor de stabiliteit van de dijk. Zowel de lokale als de totale taludhoogte moeten worden getoetst.

Figuur 9 - 1.2
Definitieschets voorland



Verder zijn voor dit katern de volgende definities van belang:

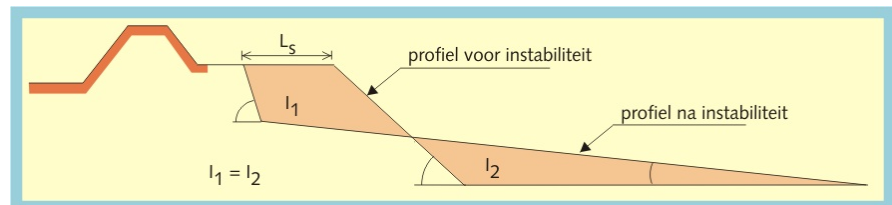
Voorland:

Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaarndijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven Toetspeil.

Inscharingslengte:

De lengte gerekend vanaf de geulrand waarover het voorland wordt aangetast (afschuiven of vloeien) in het geval van een afschuiving of zettingsvloeiing. Dit is de variabele L_s uit Figuur 9 - 1.3.

Figuur 9 - 1.3
Definitieschets inscharingslengte



Talud:

Het talud is het gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.

Buitenteen:

Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland). De buitenteen kan ook onder het maaiveld steken (zie Figuur 5 - 4.11).

Verwekingsgevoelig materiaal:

Zand met een losse pakking en een bepaalde korrelvorm en korrelverdeling dat onder bepaalde omstandigheden kan gaan vloeien.

Zettingsvloeiingsgevoelig gebied:

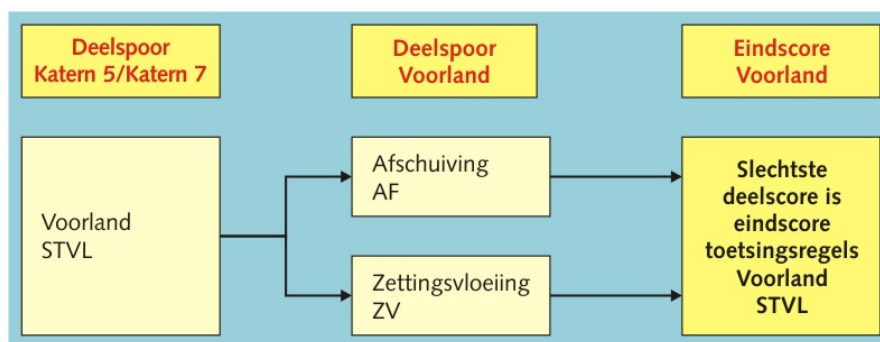
Gebied met verwekingsgevoelig materiaal en met zodanige geometrie dat zettingsvloeiing mogelijk is.

2 Beoordeling voorland

2.1 Opzet van de toetsing

Het hoofdschema van de toetsing van de stabiliteit van het voorland staat weergegeven in Figuur 9 - 2.1. De toetsingen op Afschuiving en Zettingsvloeiing worden apart doorlopen (met behulp van Figuur 9 - 2.2 en Figuur 9 - 2.4) en de slechtste score is de eindscore op het spoor Stabiliteit Voorland STVL. Deze score moet voor de toetsing van dijken en dammen worden ingevoerd in Katern 5 of voor de toetsing van waterkerende kunstwerken in Katern 7.

Figuur 9 - 2.1
Hoofdschema toetsing Stabiliteit Voorland STVL



De toetsing op beide mechanismen verloopt op vergelijkbare wijze: ten eerste wordt nagegaan of tot een eindscore 'goed' of 'voldoende' kan worden gekomen zonder uitgebreide kennis van de materiaaleigenschappen van het voorland. Pas als dat niet mogelijk is, is een geotechnische toetsing nodig (zie Figuur 9 - 2.2 en Figuur 9 - 2.4).

Opgemerkt wordt, dat toetsing op Zettingsvloeiing niet nodig is als vaststaat dat het voorland geen verwekingsgevoelig materiaal bevat. In de praktijk is het echter vaak zeer moeilijk om aan te tonen of materiaal verwekingsgevoelig is, en daarom is deze controle niet in het hoofdschema (Figuur 9 - 2.1) opgenomen als toetsstap. Bepaling van aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen is overigens wel een stap in het beoordelingsschema op Zettingsvloeiing (zie Figuur 9 - 2.4), maar de stap staat pas op het punt waar het echt nodig is, namelijk nadat aangetoond is dat via **geometrische** criteria geen score 'goed' of 'voldoende' kan worden behaald, zodat **geotechnische** toetsing op Zettingsvloeiing nodig is om de eindscore te bepalen. In Bijlage 9 - 6 staan enkele aandachtspunten met betrekking tot de bepaling van de verwekingsgevoeligheid. Verder wordt benadrukt dat in alle gevallen op Afschuiving moet worden getoetst, óók als vaststaat dat het voorland verwekingsgevoelig materiaal bevat: ook in dat geval is het mogelijk dat het mechanisme afschuiving maatgevend is boven het mechanisme zettingsvloeiing.

In de toetschema's voor zowel Afschuiving (zie Figuur 9 - 2.2) als Zettingsvloeiing (zie Figuur 9 - 2.4) bestaat de eenvoudige toetsing uit stap 1 tot en met 4. In stap 1 wordt getoetst of op basis van een eenvoudige vuistregel kan worden gesteld dat zettingsvloeiing en afschuiving zijn uit te sluiten. Deze stap is voor beide mechanismen hetzelfde. In stap 2 wordt nagegaan in hoeverre op basis van geometrische criteria kan worden uitgesloten dat het mechanisme, gesteld dat het optreedt, de waterkering in gevaar kan brengen (schadelijkheids criterium). Hierbij zijn de diepte van de geul en de afstand tot aan de waterkering van belang. Als dit kan worden uitgesloten, wordt de eindscore bepaald op 'goed' of 'voldoende' met behulp van het bestortingscriterium (stap 3). Met dat criterium wordt gecontroleerd of de constructie op lokaal niveau van ontwerp kwaliteit is. Indien niet kan worden uitgesloten dat het mechanisme de waterkering kan bedreigen, kan in stap 4 worden nagegaan of het mechanisme ook werkelijk op kan treden (optredingscriterium), wederom op basis van voornamelijk geometrische criteria. Hierbij speelt de taludhelling een rol. Op basis van het optredingscriterium kan een score 'voldoende' worden gegeven. De uitwerking van stap 2 en 4 verschilt voor de beide mechanismen Afschuiving AF en Zettingsvloeiing ZV.

Als op basis van geometrische criteria geen eindscore 'goed' of 'voldoende' kan worden toegekend, is geotechnische toetsing nodig. Voor de geotechnische toetsing op Afschuiving bestaat een gedetailleerde methode, waarna eventueel Geavanceerde toetsing nodig is. Geotechnische toetsing op Zettingsvloeiing is alleen mogelijk op geavanceerd niveau. Dit is alleen nodig als het voorland verwekingsgevoelig materiaal bevat.

Bij de rekenregels voor het voorland wordt uitgegaan van de situatie op het moment van toetsing. Het is echter niet ondenkbaar dat zich binnen de periode tot aan de peildatum ongunstige (morfologische) ontwikkelingen voordoen op het voorland. De toetsingsregels zijn zodanig opgezet, dat bij een eindscore 'goed' de volgende toetsingsronde kan worden afgewacht, maar dat bij een eindscore 'voldoende' een jaarlijkse inspectie nodig is om te controleren of de veiligheid door ongunstige ontwikkelingen in gevaar wordt gebracht.

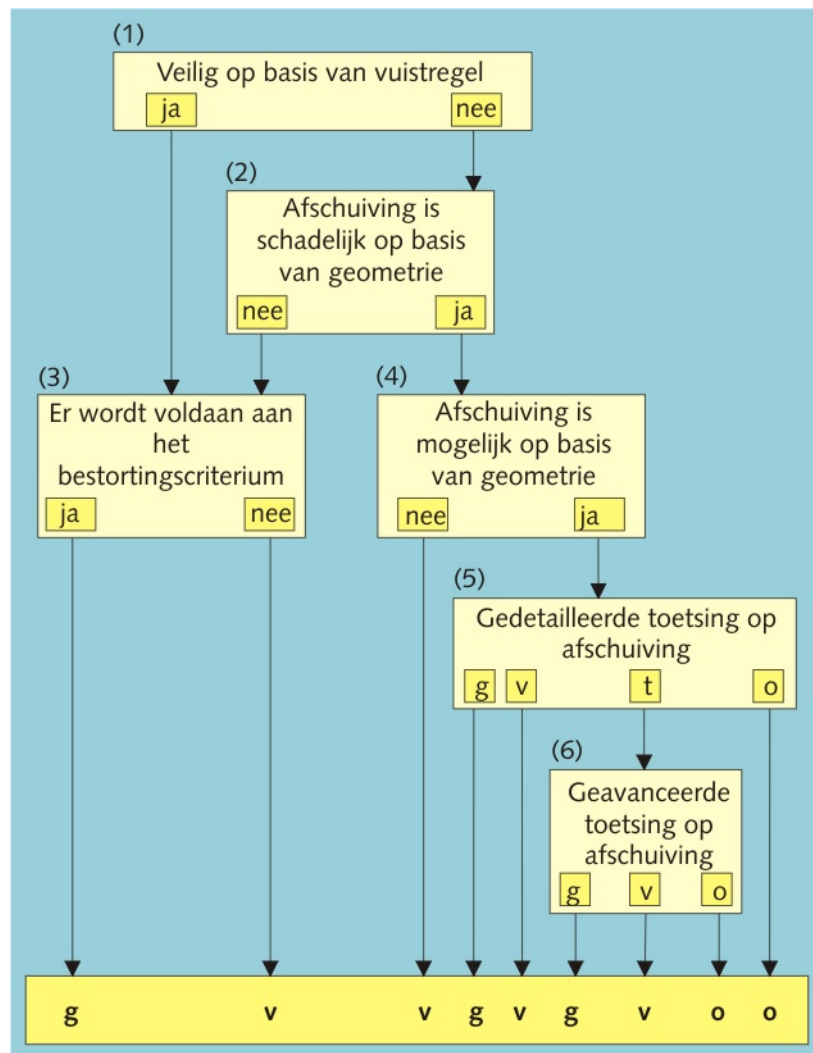
2.2 Toetsing op Afschuiving AF

Het beoordelingsschema voor Afschuiving is weergegeven in Figuur 9 - 2.2. De algemene beschrijving van het schema staat in § 2.1.

Stap 1: Vuistregel

Het is onder voorwaarden mogelijk om op basis van ervaring te stellen dat een afschuiving van het voorland de veiligheid niet bedreigt, dus dat de score 'goed' of 'voldoende' is. Ten opzichte van andere toetsprofielen gelden hiervoor bij het voorland afwijkende regels. Vanwege het onvoorspelbare karakter van de mechanismen wordt niet gekeken naar de ervaring met het toetsprofiel zelf; in plaats daarvan wordt het profiel getoetst aan een zeker veilige vuistregel die is opgesteld op basis van langjarige ervaring in het getijdengebied.

Figuur 9 - 2.2
Beoordelingsschema Afschuiving AF



In het getijdengebied is nog nooit een inscharing tot aan de waterkering ten gevolge van zettingsvloeiing of afschuiving geconstateerd in natuurlijke geulen waarbij de geuldiepte kleiner was dan 9 m. Dit hangt samen met enerzijds de kans op een instabiliteit, die afneemt naarmate de geuldiepte kleiner is, en anderzijds met de grootte van de inscharing, dus de kans dat de waterkering beschadigd raakt door een instabiliteit; die kans wordt eveneens kleiner bij een kleinere geuldiepte. Hoewel afschuiving en zettingsvloeiing theoretisch bij kleinere geuldiepten niet zijn uit te sluiten, kan op basis van deze ervaring minimaal een score 'voldoende' worden toegekend voor geulen met kleinere diepte dan 9 m in dezelfde omstandigheden als waaronder de toetsregels zijn afgeleid (natuurlijke geulen in getijdengebied).

In de andere watersystemen (het meren- en rivierengebied) zijn de sterkte en belasting bij natuurlijke geulen altijd gunstiger dan in het getijdengebied: het zand is grover en hoekiger en de waterstandsvariatie is kleiner. Voor een eerste conservatieve benadering kan het criterium voor bewezen sterkte dat geldt in het getijdengebied daarom ook worden toegepast in het meren- en rivierengebied.

De 9 m-regel geldt niet voor gebieden met antropogeen (door mensen aangebracht) materiaal of voor ontgravingen onder water, zoals zandwinputten. Onder water gestort materiaal kan extreem losgepakt zijn en als gevolg van ontgravingen kan het natuurlijk aanwezig evenwicht verstoord zijn. In zo'n geval vervalt de regel en wordt doorgegaan met stap 2. Vaak wordt bij antropogeen materiaal de controle op zettingsvloeiing maatgevend, maar in het geval van een dunne laag antropogeen materiaal kan afschuiving nog steeds maatgevend zijn. Zodoende wordt niet direct doorverwezen naar de toets op Zettingsvloeiing.

Bij de bepaling van de geuldiepte voor deze stap mag niet alleen naar de geul zelf worden gekeken, maar moet ook rekening worden gehouden met de aanwezigheid van het dijklichaam of het waterkerend kunstwerk. De wijze van bepaling van de geuldiepte voor deze stap 1 staat in Bijlage 9 - 1.

Samenvattend is de toetsingsregel in deze stap als volgt: de toetsing wordt voortgezet met stap 3 als het voorland is ontstaan door natuurlijke processen én als de fictieve geuldiepte h_{fictief} kleiner is dan 9 m. In alle andere gevallen wordt de toetsing voortgezet met stap 2. Deze regel geldt voor alle watersystemen, zowel met als zonder getij.

Stap 2: Geometrische toetsing: schadelijkheids criterium afschuiving

Het is mogelijk om op basis van de geometrie van het voorland situaties uit te filteren waarbij de veiligheid zeker niet wordt bedreigd door afschuiving. In deze stap wordt bekeken of afschuiving al dan niet schade aan het dijk- of damlichaam zou opleveren indien het op zou treden. Het schadelijkheids criterium bestaat uit regels voor de geuldiepte en de afstand van de geul tot aan de buitenteen van de dijk of dam; hiermee wordt berekend of eventueel optreden van het mechanisme de dijk of dam in gevaar brengt, gesteld dat het mechanisme zich voordoet. Als de geul zo ver weg ligt of zo ondiep is dat de waterkering niet in gevaar komt, zelfs al treedt het mechanisme op, kan een score 'goed' of 'voldoende' worden gegeven. Voor de bepaling van de geuldiepte voor deze stap wordt naar de geul zelf gekeken en niet naar de fictieve geuldiepte.

In Bijlage 9 - 2 wordt de rekenregel voor het schadelijkheids criterium voor afschuiving gegeven. Als afschuiving niet schadelijk is, dan is de score minimaal 'voldoende', en wordt de toetsing voortgezet met stap 3, het bestortings criterium, om de eindscore op 'goed' of 'voldoende' vast te stellen.

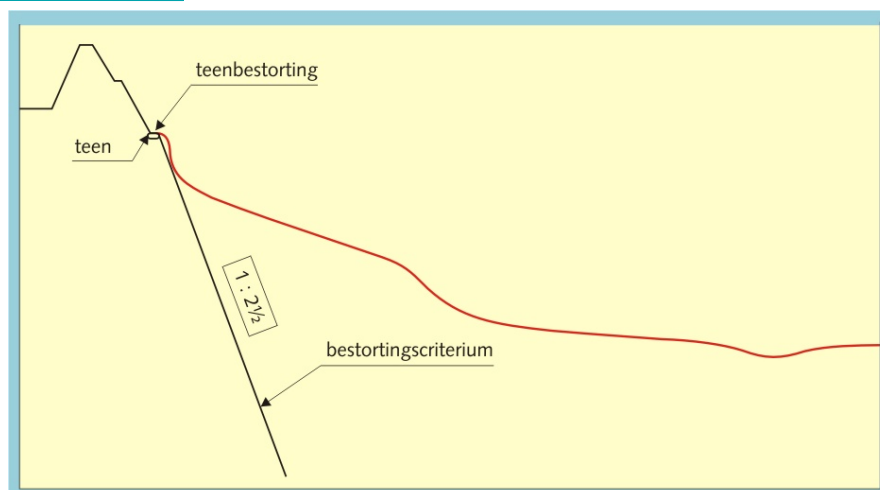
Samenvattend is de toetsingsregel in deze stap als volgt: De toetsing wordt voortgezet met stap 3 als het optreden van afschuiving niet leidt tot schade aan de waterkering. In alle andere gevallen wordt de toetsing voortgezet met stap 4.

Stap 3: Bestortings criterium

Het bestortings criterium betreft het veiligheidsniveau van de constructie op een relatief lokaal en kleinschalig niveau. Als niet aan dit criterium wordt voldaan, is niet direct de veiligheid in gevaar, maar is het ook niet terecht om een score 'goed' te geven.

Direct voor de teen van de dijk dan wel aan de buitenzijde van de teenbestorting dan wel aan de buitenwaartse beëindiging van een bestorting mag de helling 1:2½ niet door het profiel doorsneden worden (zie Figuur 9 - 2.3). Voor de beëindiging van een bestorte vooroever geldt hetzelfde bestortings criterium, zowel in dwars- als langsrichting (flanken).

Figuur 9 - 2.3
Bestortingscriterium



De helling is onafhankelijk van de grondslag en wordt voornamelijk bepaald door ervaring met bestortingswerken. Steilere hellingen zijn moeilijk te bestorten en in veel situaties blijft de stortsteen slechts ten dele liggen.

Wordt niet aan het bestortingscriterium voldaan dan kan een eindscore 'voldoende' worden toegekend, in het andere geval een eindscore 'goed'.

Samenvattend is de toetsingsregel in deze stap als volgt: direct voor de teen van de dijk dan wel aan de buitenzijde van de teenbestorting dan wel aan de buitenwaartse beëindiging van een bestorting mag de helling 1:2½ niet door het profiel doorsneden worden (zie Figuur 9 - 2.3). Voor de beëindiging van een bestorte vooroever geldt hetzelfde bestortingscriterium, zowel in dwars- als langsricting (flanken).

Stap 4: Geometrische toetsing: optredingscriterium afschuiving

In Bijlage 9 - 3 staat de rekenregel die berekent of afschuiving mogelijk is op basis van de geometrie van het voorland. Het optredingscriterium bevat regels voor de taludhelling van de geul; als de taludhelling nergens zo steil is dat het mechanisme kan optreden, kan op basis daarvan een score 'voldoende' worden gegeven.

Als afschuiving niet mogelijk is wordt de eindscore 'voldoende'. De score wordt niet 'goed' omdat in stap 2 al is gebleken dat afschuiving wel schadelijk zou zijn als het op zou treden. Als afschuiving wel mogelijk is, wordt de toetsing voortgezet met de Gedetailleerde methode voor afschuiving, stap 5.

De toetsingsregel in deze stap als volgt: de toetsing wordt voortgezet met stap 5 indien voldaan wordt aan één van onderstaande criteria:

- de gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1:2, over een hoogte van minimaal 5 m, tenzij ter plaatse van een kleilaag zonder zand;
- de gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1:1, over een hoogte van minimaal 5 m, mits ter plaatse van een kleilaag zonder zand;
- de totale helling (geulrand-geulbodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1:4,5

In alle andere gevallen krijgt de waterkering de score 'voldoende' voor het mechanisme Afschuiving AF.

Stap 5: Gedetailleerde toetsing Afschuiving

Als afschuiving zowel mogelijk als schadelijk is (zie stappen 2 en 4), is geotechnische toetsing op afschuiving nodig. De eerste stap daarvan is de gedetailleerde toetsing. Voor de methode wordt verwezen naar de berekeningsmethodes voor afschuiving, zoals die staan in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied [2] en deel 2 - benedenrivierengebied [4], in de Handreiking Constructief ontwerpen [7] en in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16].

Bij een tussenscore 'twijfelachtig' is geavanceerde toetsing op Afschuiving nodig (zie stap 6). Bij een tussenscore 'onvoldoende' wordt de eindscore direct 'onvoldoende'. Bij toekenning van een tussenscore 'goed' in deze stap dient ook het bestortingscriterium (zie stap 3) betrokken te worden. De score daarvan wordt dan gelijk de eindscore.

Stap 6: Geavanceerde toetsing Afschuiving

In het algemeen geldt voor geavanceerde toetsing dat er specialisten voor moeten worden ingeschakeld. Er kan worden gedacht aan drie types geavanceerde toetsing: beoordeling omgeving en ontwikkeling, veiligheidsanalyse en geavanceerde geotechnische analyse.

Omgeving en ontwikkeling

De geometrische toetsing op afschuiving is gebaseerd op de toestand ter plaatse van de te toetsen sectie zelf op het moment van toetsing. Het is mogelijk dat op grond van de beoordeling van peilingen over meerdere jaren en/of van omringende raaien kan worden geconcludeerd dat de veiligheid niet direct wordt bedreigd gedurende de komende toetsperiode. In zo'n geval kan niet een score 'goed', maar eventueel wel een score 'voldoende' worden gegeven. Voor deze stap is de beheerderskennis van de lokale omstandigheden onmisbaar; ook als de toetsing door een derde partij wordt uitgevoerd is inbreng van de beheerder in deze stap essentieel. Een vergelijkbare analyse kan in sommige gevallen worden uitgevoerd als een onderdeel van het beheerdersoordeel. Bij deze analyse moet ook rekening worden gehouden met de lokale situatie ter plaatse van de teen, conform het bestortingscriterium (zie stap 3).

Veiligheidsanalyse

Afschuiving en zettingsvloeiing zijn mechanismen die zeker niet per definitie samenvallen met hoog buitenwater. Bezijken van de waterkering door deze mechanismen betekent dus niet noodzakelijk dat overstroming plaatsvindt: het is mogelijk dat deze mechanismen op een dusdanig moment optreden dat er voldoende tijd is om de waterkering te herstellen voordat de waterstand voldoende is gestegen. Met name buiten het getijdengebied kan een veiligheidsanalyse daarom onderdeel uitmaken van een geavanceerde toetsing.

Geavanceerde geotechnische analyse

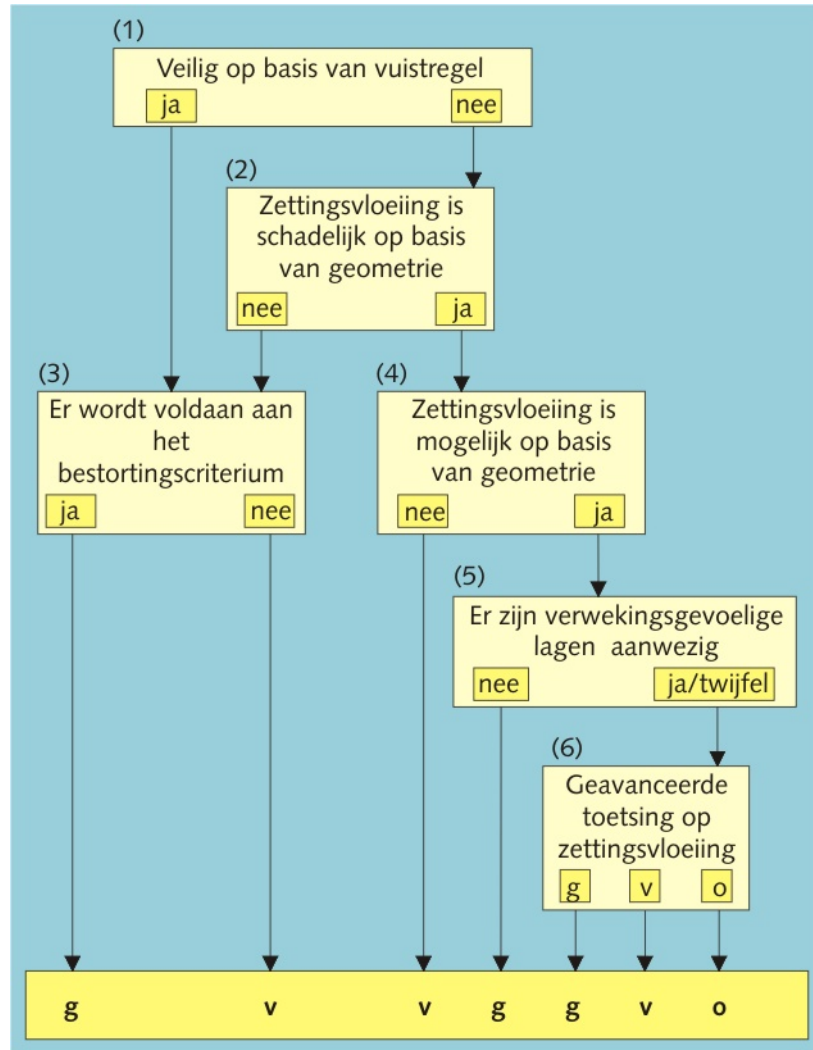
In de eenvoudige en gedetailleerde methode op afschuiving is gegevensinwinning, zeker aan de buitendijkse zijde, vaak niet zeer uitgebreid. In de geavanceerde toetsing op afschuiving kan dus aan gegevensinwinning worden gedaan, maar ook een normale deterministische stabiliteitsanalyse (met bijvoorbeeld het rekenmodel MSTAB) of een eindige elementen analyse (met bijvoorbeeld het rekenmodel PLAXIS) met conservatieve parameters uit tabel 1 van de NEN 6740 levert al meer informatie op.

De score van stap 6 wordt tevens de eindscore voor het mechanisme Afschuiving.

2.3 Toetsing op Zettingsvloeiing ZV

In Figuur 9 - 2.4 staat het beoordelingsschema voor Zettingsvloeiing weergegeven. De algemene beschrijving van het schema staat in § 2.1.

Figuur 9 - 2.4
Beoordelingsschema Zettingsvloeiing ZV



Stap 1: Vuistregel

Deze stap is voor Zettingsvloeiing exact hetzelfde als voor Afschuiving, zie stap 1 van § 2.2.

Stap 2: Geometrische toetsing: schadelijkheids criterium zettingsvloeiing

Net als voor afschuiving kan ook voor zettingsvloeiing vaak al op basis van geometrische criteria worden aangetoond dat de waterkering niet wordt bedreigd, zelfs al zou zich een zettingsvloeiing voordoen. Ook voor zettingsvloeiing zijn daarbij de diepte van de geul en de afstand tot aan de waterkering van belang. De rekenregel voor het schadelijkheids criterium voor zettingsvloeiing staat in Bijlage 9 - 4.

Bij het doorrekenen van de geometrische criteria (zie stap 2 en 4) voor zettingsvloeiing kan het van belang zijn om te weten in hoeverre in het voorland verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. Als hierover geen informatie beschikbaar is, kan in eerste instantie de conservatieve aanname worden gedaan dat de vooroever over de gehele hoogte uit verwekingsgevoelig materiaal bestaat, want ook onder die aanname is het mogelijk om een score 'voldoende' of 'goed' te behalen. Als het voorland slechts deels uit verwekingsgevoelig materiaal bestaat, kunnen de geometrische regels voor zettingsvloeiing scherper worden toegepast; aanwijzingen hiervoor worden gegeven bij de rekenregels in de Bijlagen 9 - 4 en 9 - 5 (de laatste hoort bij stap 4, het optredingscriterium voor zettingsvloeiing). Het kan dus zinnig zijn om de geometrische regels eerst toe te passen onder de aanname dat de vooroever over de gehele hoogte uit verwekingsgevoelig materiaal bestaat, en pas beter naar de werkelijke verwekingsgevoeligheid te kijken als uit die eerste conservatieve benadering geen score 'goed' of 'voldoende' volgt. De bepaling van de verwekingsgevoeligheid van het materiaal wordt nader uitgewerkt in Bijlage 9 - 6.

Als het antwoord in stap 2 'nee' is (dus er wordt voldaan aan het schadelijkheids criterium van zettingsvloeiing), wordt de toetsing voortgezet met het bestortingscriterium (zie stap 3), waarin de eindscore op 'goed' of 'voldoende' wordt bepaald. Als een eventuele zettingsvloeiing wél schadelijk kan zijn (antwoord 'ja'), wordt de toetsing voortgezet met stap 4, waarin wordt gekeken of zettingsvloeiing mogelijk is op basis van de geometrische criteria.

Stap 3: Bestortingscriterium

Deze stap verloopt exact hetzelfde als bij Afschuiving (zie stap 3 in § 2.2). Als aan het bestortingscriterium wordt voldaan dan is de eindscore 'goed', zo niet, dan wordt de score 'voldoende'.

Stap 4: Geometrische toetsing: optredingscriterium zettingsvloeiing

Net als voor afschuiving kan ook voor zettingsvloeiing vaak al op basis van geometrische criteria worden aangetoond dat zettingsvloeiing niet zal optreden. Ook voor zettingsvloeiing is daarbij de taludhelling van de geul van belang. In Bijlage 9 - 5 staan de rekenregels voor het optredingscriterium van zettingsvloeiing.

Net als bij stap 2 kan het ook bij dit criterium van belang zijn om te weten in hoeverre in het voorland verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. Verwezen wordt naar de opmerking hierover bij stap 2.

Als zettingsvloeiing niet mogelijk is wordt de eindscore 'voldoende'. De score wordt niet 'goed' omdat in stap 2 al is gebleken dat zettingsvloeiing wel schadelijk zou zijn als het op zou treden. Als zettingsvloeiing wel mogelijk is, wordt de toetsing voortgezet met stap 5, waarin de aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen wordt nagegaan.

Stap 5: Aanwezigheid verwekingsgevoelige lagen

Deze voor-de-hand-liggende stap staat in het beoordelingsschema pas ná de geometrische toetsing omdat het in de praktijk vaak niet eenvoudig is om te bepalen of het voorland verwekingsgevoelige gebieden bevat. In Bijlage 9 - 6 wordt behandeld welke bepalingsmethodes er bestaan voor de aanwezigheid van zettingsvloeiingsgevoelige gebieden.

Als in het voorland geen verwekingsgevoelig materiaal aanwezig is, is de eindscore voor Zettingsvloeiing 'goed'. Als er wél verwekingsgevoelige gebieden zijn, of er bestaat twijfel over, is geotechnische toetsing op zettingsvloeiing nodig. Dit is altijd een geavanceerde toetsing (zie stap 6).

Stap 6 Geavanceerde toetsing Zettingsvloeiing

In het algemeen geldt voor geavanceerde toetsing dat er specialisten voor moeten worden ingeschakeld. Er kan worden gedacht aan drie types geavanceerde toetsing:

- a = beoordeling omgeving en ontwikkeling
- b = veiligheidsanalyse
- c = geavanceerde geotechnische analyse.

Voor een beschrijving van de eerste twee types, zie stap 6 van de toetsing op Afschuiving.

Geavanceerde geotechnische analyse

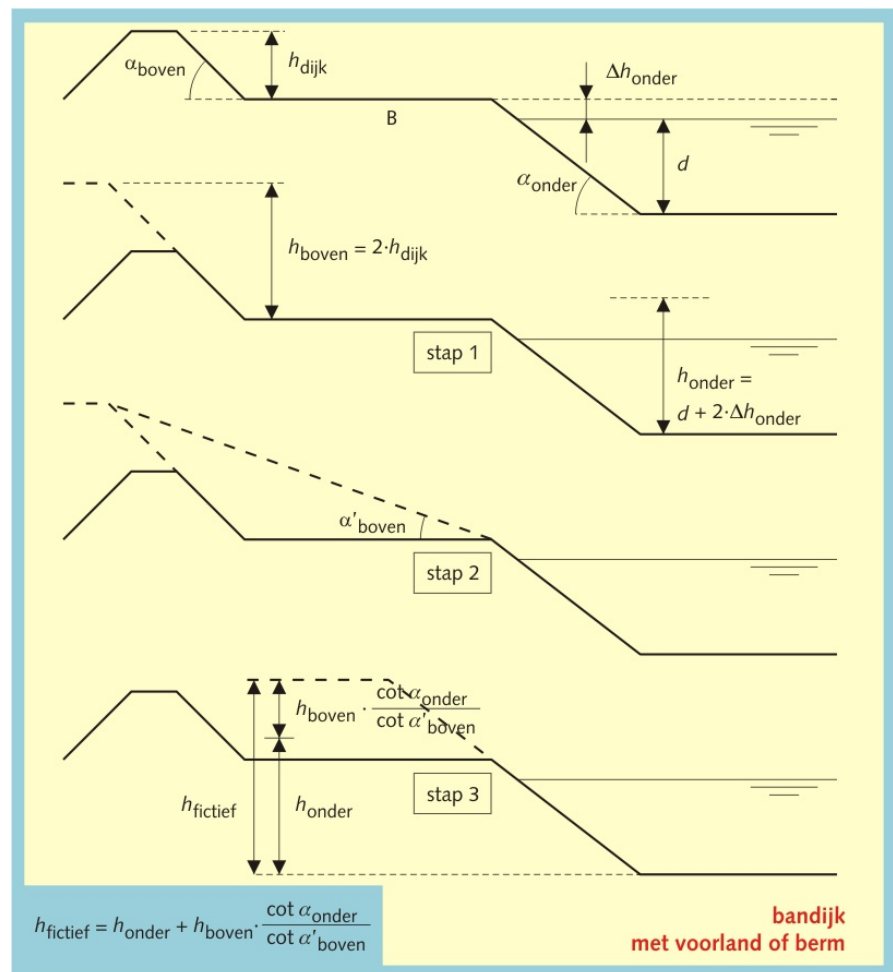
Een geavanceerde geotechnische analyse bestaat uit terrein-, laboratorium- en bureau-onderzoek. In Bijlage 9 - 6 is aangegeven welk type terrein- en laboratoriumonderzoek nodig zou kunnen zijn. Ten aanzien van bureaustudies kan bijvoorbeeld worden gedacht aan geavanceerde rekenmodellen. Met name dit type geavanceerde toetsing is vaak kostbaar. In overweging kan worden gegeven om eerst een afweging te maken tussen de kosten voor bestorten, de kosten van onderzoek en de kans dat uit de geavanceerde toetsing volgt dat bestorten niet nodig is. Bij deze afweging kan ook worden betrokken dat op afzienbare termijn een gedetailleerde toetsmethode voor zettingsvloeiing zal worden ontwikkeld.

Bijlage 9 - 1: Bepaling fictieve geuldiepte

Bij de bepaling van de geuldiepte moet onderscheid gemaakt worden naar de geuldiepte bij dijken en dammen en de geuldiepte bij waterkerende kunstwerken. In het geval van kunstwerken zal veelal sprake zijn van de aanwezigheid van een toegangsgeul naar het kunstwerk toe en de aanwezigheid van een op maat ontworpen bodembescherming. Met behulp van generieke regels zal de (fictieve) geuldiepte bij kunstwerken in veel gevallen niet bepaald kunnen worden; hier is dan maatwerk oftewel geavanceerd toetsen nodig. Bij dijken en dammen kan in de meeste gevallen wel een (fictieve) geuldiepte bepaald worden op grond van generieke regels.

Bij de bepaling van de geuldiepte bij dijken en dammen moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van het dijk- of damlichaam. De kans bestaat namelijk dat de spanningstoestand van het onderwatertalud wordt beïnvloed door de aanwezigheid van het dijk- of damlichaam boven water, met name als het voorland niet al te breed is. De reden hiervoor is dat (nat) zand boven water ongeveer twee maal zo veel weegt als zand onder water. De aanwezigheid van het dijk- of damlichaam wordt in rekening gebracht door de fictieve geuldiepte h_{fictief} in plaats van de werkelijke geuldiepte.

Figuur 9 - B1.1
Schematisatie verzadigd dijklichaam met voorland of berm in nabijheid van geul



In lijn met het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] wordt de fictieve geuldiepte h_{fictief} als volgt bepaald (zie ook Figuur 9 - B1.1):

Stap 1 schematiseer de taludhellingen boven water twee maal zo lang als in werkelijkheid; ga hierbij uit van een extreme laagwaterstand. Hieruit volgt:
 $h_{\text{boven}} = 2 \cdot h_{\text{dijk}}$ en $h_{\text{onder}} = d + 2 \cdot \Delta h_{\text{onder}}$;

Stap 2 schematiseer één (flauw) talud vanaf de bovenzijde van het in de vorige stap verlengde talud boven water tot de rand van de geul. De hoek van het geschematiseerde flauwe talud is:

$$\alpha'_{\text{boven}} = \arctan \frac{h_{\text{boven}}}{h_{\text{boven}} \cdot \cot \alpha_{\text{boven}} + B}$$

Stap 3 bepaal de fictieve (onderwater)taludhoogte waarmee rekening moet worden gehouden met de formule:

$$h_{\text{fictief}} = h_{\text{onder}} + h_{\text{boven}} \cdot \frac{\cot \alpha_{\text{onder}}}{\cot \alpha'_{\text{boven}}}$$

waarin:

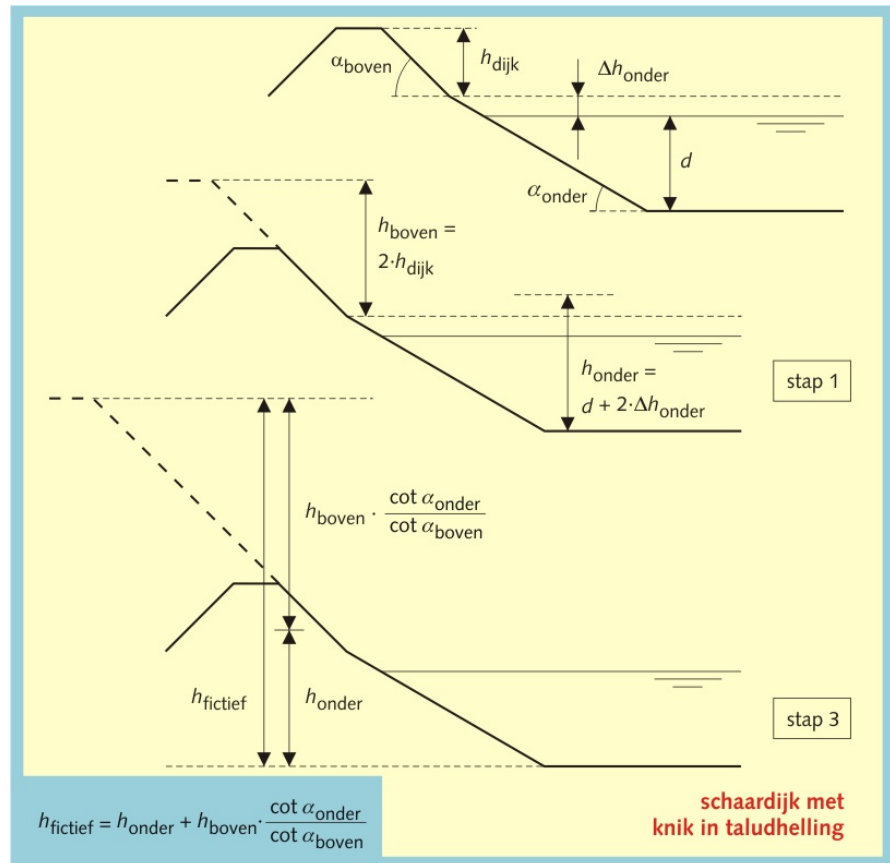
B	=	breedte van het voorland	[m]
d	=	waterdiepte	[m]
h_{boven}	=	fictieve hoogte van het boventalud in geval van een verzadigd waterkerend grondlichaam ($= 2 \cdot h_{\text{dijk}}$)	[m]
h_{dijk}	=	hoogte van het boventalud	[m]
h_{fictief}	=	fictieve geuldiepte	[m]
h_{onder}	=	fictieve hoogte van het ondertalud ($= d + 2 \cdot \Delta h_{\text{onder}}$)	[m]
h_{geul}	=	geuldiepte	[m]
Δh_{onder}	=	hoogte van het ondertalud dat bij extreem laagwater boven water ligt	[m]
α_{boven}	=	hoek tussen het maaiveld van het voorland en het boventalud	[°]
α'_{boven}	=	hoek tussen het maaiveld van het voorland en het in stap 2 bepaalde flauwe boventalud	[°]
α_{onder}	=	hoek tussen de geulbodem en het ondertalud	[°]

Afhankelijk van de geometrie van het profiel kan de fictieve geuldiepte betrekking hebben op de totale geul, maar ook op een deel van de geul, indien duidelijk een tussenplateau is te onderscheiden. Beide situaties, zowel H_{lok} als H_{tot} , moeten in ogenschouw worden genomen. Ter verduidelijking wordt verwezen naar Figuur 9 - 1.2.

Indien sprake is van een schaaldijk (geen voorland of berm) is de bepaling van de fictieve geuldiepte eenvoudiger (zie ook Figuur 9 - B1.2 en Figuur 9 - B1.3).

Figuur 9 - B1.2

Schematisatie verzadigd dijklichaam in nabijheid van geul zonder voorland of berm en met knik in taludhelling



Voor een schaaldijk met een knik in de taludhelling worden dan de hiervoor beschreven drie stappen:

Stap 1 deze stap is identiek aan stap 1 bij het geval met voorland of berm:
 $h_{\text{boven}} = 2 \cdot h_{\text{dijk}}$ en $h_{\text{onder}} = d + 2 \cdot \Delta h_{\text{onder}}$;

Stap 2 doordat er geen voorland of berm is geldt: $\alpha'_{\text{boven}} = \alpha_{\text{boven}}$.

Stap 3 de fictieve (onderwater)taludhoogte waarmee rekening moet worden gehouden is voor een schaaldijk met een knik in de taludhelling gelijk aan:

$$h_{\text{fictief}} = h_{\text{onder}} + h_{\text{boven}} \cdot \frac{\cot \alpha_{\text{onder}}}{\cot \alpha_{\text{boven}}}$$

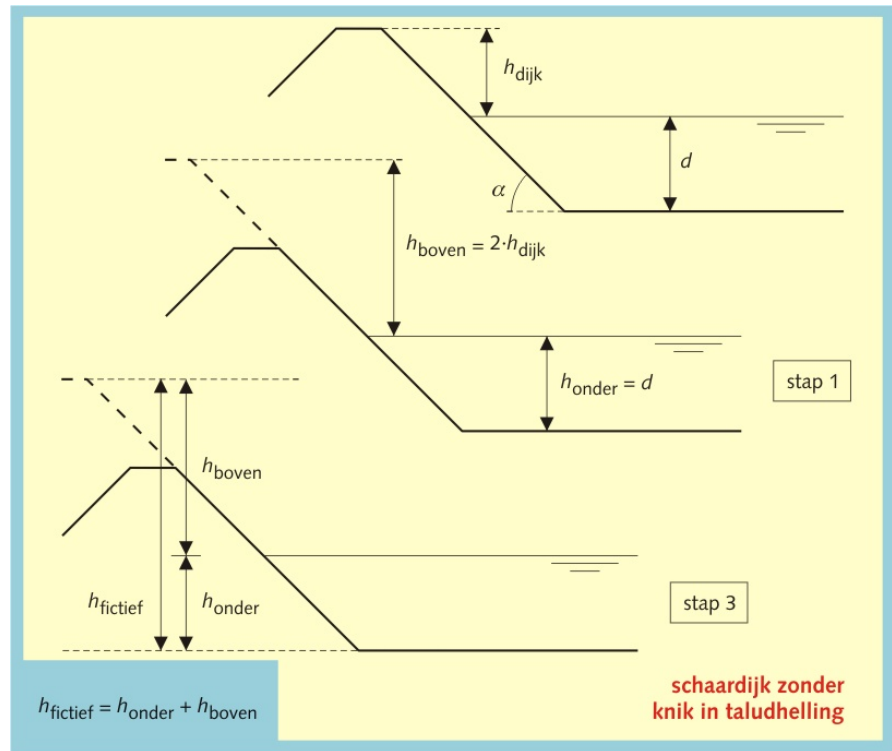
Voor een schaaldijk zonder knik in de taludhelling (zie Figuur 9 - B1.3) zijn stap 1 en 2 gelijk aan de situatie bij een schaaldijk met taludhelling (Figuur 9 - B1.2). Doordat bij een taludhelling zonder knik α_{onder} gelijk is aan α_{boven} wordt stap 3 vereenvoudigd tot:

Stap 3 de fictieve (onderwater)taludhoogte waarmee rekening moet worden gehouden is voor een schaaldijk zonder knik in de taludhelling gelijk aan:

$$h_{\text{fictief}} = h_{\text{onder}} + h_{\text{boven}}$$

Figuur 9 - B1.3

Schematisatie verzadigd dijklichaam in nabijheid van geul zonder voorland of berm en zonder knik in taludhelling



Bijlage 9 - 2: Schadelijkheids criterium afschuiving

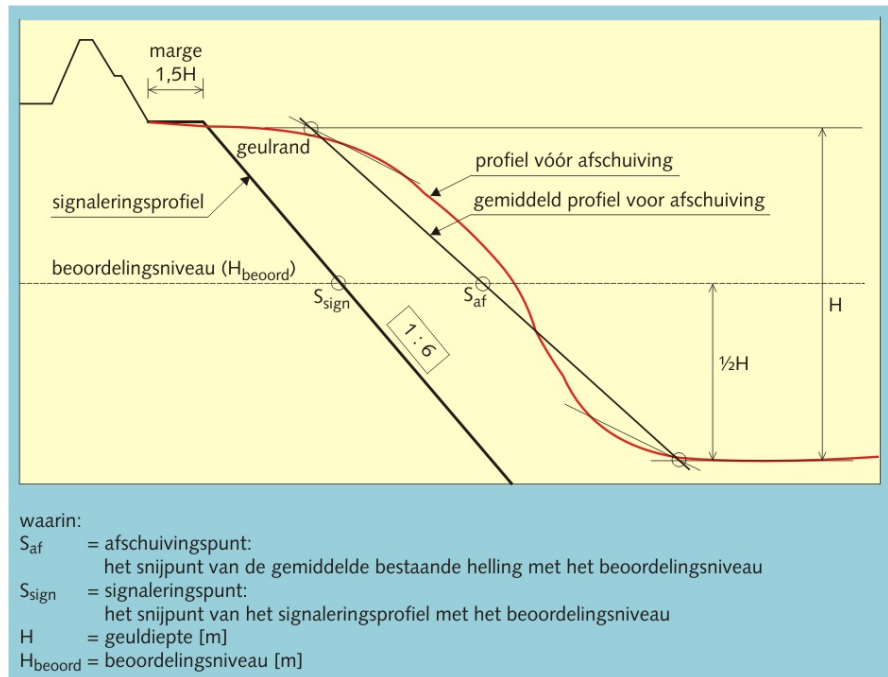
Dit criterium bepaalt of een afschuiving de waterkering bereikt, in het geval dat deze zou optreden. Hiervoor wordt de methode met het signaleringsprofiel gebruikt die is opgesteld voor het mechanisme zettingsvloeiing. Voor de achtergrond van de methode wordt daarom verwezen naar de beschrijving van het schadelijkheids criterium voor zettingsvloeiing in Bijlage 9 - 4. Ook voor afschuiving geldt, dat apart wordt gekeken naar situaties met een vooroeverbestorting die aansluit op de teen. De verwekingsgevoeligheid van het materiaal is voor de rekenregels van afschuiving niet relevant.

B2.1 Standaardgeval (zonder vooroeverbestortingen)

Voor het standaardgeval zijn vier stappen van belang, zie Figuur 9 - B2.1:

1. bepaling van het signaleringsprofiel:
 - a. de benodigde marge (het horizontale gedeelte van het signaleringsprofiel) is groter naarmate de geul dieper is. Voor het standaardgeval geldt voor de marge een waarde van $1,5 \cdot H$. De geuldiepte H is de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem. Let op: in Figuur 9 - B2.1 zijn de horizontale en verticale schaal verschillend;
 - b. het hellende deel van het signaleringsprofiel sluit aan op het horizontale deel. De te hanteren taludhelling is in alle gevallen 1:6;
2. bepaling van het beoordelingsniveau. Het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van $1/2 \cdot H$ boven de geulbodem;
3. bepaling van het gemiddeld profiel vóór afschuiving. De rode lijn in Figuur 9 - B2.1 toont het vóór de afschuiving aanwezige profiel. Op basis daarvan wordt een rechte lijn getrokken, vanaf de geulrand tot aan de geulbodem (dus onder de gemiddelde helling van het aanwezige profiel);
4. vergelijking van het signaleringsprofiel met het gemiddeld profiel vóór afschuiving. Op het beoordelingsniveau worden twee punten gedefinieerd. Het signaleringspunt S_{sign} is het snijpunt van het signaleringsprofiel met het beoordelingsniveau. Het afschuivingspunt S_{af} is het snijpunt van het gemiddeld profiel vóór afschuiving met het beoordelingsniveau. Dit wijkt af van de definitie van het zettingsvloeiingspunt S_{zv} dat gedefinieerd wordt als het snijpunt van het werkelijk aanwezige profiel en het beoordelingsniveau (zie Bijlage 9 - 4). Er wordt niet aan het schadelijkheids criterium voldaan als het afschuivingspunt S_{af} landwaarts ligt van het signaleringspunt S_{sign} .

Figuur 9 - B2.1
 Signaleringsprofiel afschuiving zonder
 vooroeverbestorting

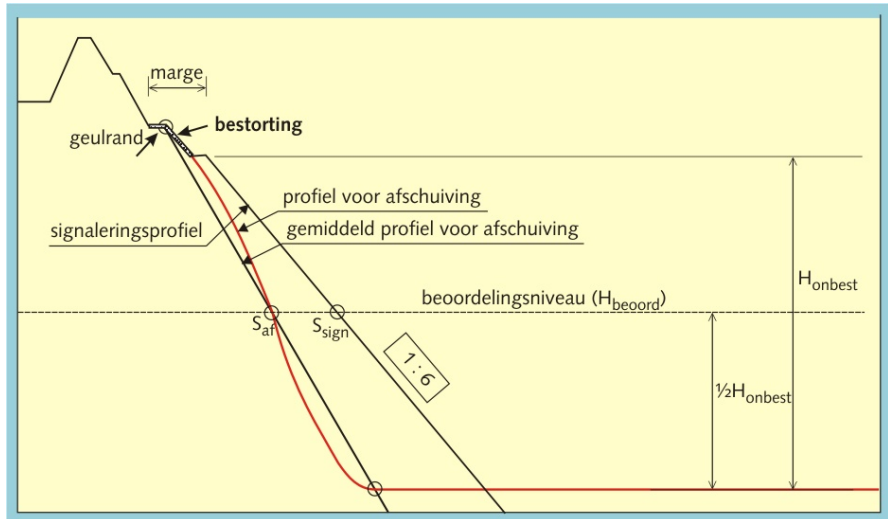


B2.2 Situatie met vooroeverbestorting

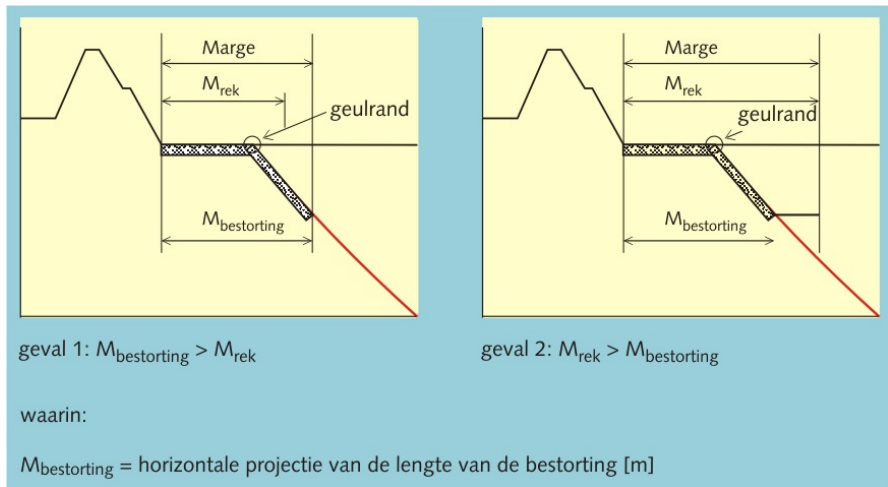
Net als bij zettingsvloeiing geldt als aanvullende eis dat een vooroeverbestorting die aansluit op de teen niet mag worden bereikt door een eventuele inscharing ten gevolge van afschuiving. Net als bij zettingsvloeiing veranderen de definities van signaleringsprofiel en beoordelingsniveau hierdoor enigszins. De werkwijze voor elk van de vier stappen is als volgt (zie Figuur 9 - B2.2):

1. bepaling van het signaleringsprofiel:
 - a. voor de bepaling van de marge, zie Figuur 9 - B2.3. Vanaf de teen van de dijk volgt het signaleringsprofiel de ligging van de bestorting tot aan het uiteinde daarvan. Als voor het geval met een vooroeverbestorting M_{rek} groter is dan de horizontale projectie van de bestorting, $M_{bestorting}$, verloopt het signaleringsprofiel horizontaal verder vanaf het uiteinde van de bestorting, totdat de horizontale afstand tot aan de teen gelijk is aan M_{rek} . Net als bij het standaardgeval geldt voor het geval met een vooroeverbestorting voor de marge M_{rek} een waarde van $1,5 \cdot H$, en is de geuldiepte H de verticale afstand tussen de geulrand en de geulbodem;
 - b. de taludhelling van het signaleringsprofiel vanaf dat punt is hetzelfde als voor het standaardgeval: 1:6;
2. bepaling van het beoordelingsniveau. Voor de bepaling van het beoordelingsniveau hoeft alleen te worden gekeken naar het gedeelte onder de bestorting, H_{onbest} . Daarbinnen geldt dezelfde regel als voor het standaardgeval: het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van $\frac{1}{2} \cdot H_{onbest}$ boven de geulbodem;
3. de bepaling van het gemiddeld profiel vóór afschuiving verloopt hetzelfde als voor het standaardgeval;
4. de vergelijking van het signaleringsprofiel met het gemiddeld profiel vóór afschuiving verloopt hetzelfde als voor het standaardgeval.

Figuur 9 - B2.2
 Signaleringsprofiel afschuiving bestorte oever



Figuur 9 - B2.3
 Bepaling van de marge



Bijlage 9 - 3: Optredingscriterium afschuiving

Het optreden van een afschuiving is mogelijk als wordt voldaan aan één van de volgende drie voorwaarden:

- de gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1:2, over een hoogte van minimaal 5 m, tenzij ter plaatse van een kleilaag zonder zand;
- de gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1:1, over een hoogte van minimaal 5 m, mits ter plaatse van een kleilaag zonder zand;
- de totale helling (geulrand-geulbodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1:4,5.

Eventuele bestortingen zijn niet van invloed op dit criterium.

Bijlage 9 - 4: Schadelijkheids criterium zettingsvloeiing

Dit criterium bepaalt of een zettingsvloeiing de waterkering bereikt, in het geval dat deze zou optreden. Dit wordt bepaald door de diepte van de geul in combinatie met de afstand vanaf de geul tot aan de buitenteen van de dijk. Voor het berekenen van dit criterium wordt het signaleringsprofiel gebruikt: dit is het profiel van het voorland dat minimaal aanwezig moet zijn om te voorkomen dat een eventuele zettingsvloeiing schadelijk kan zijn voor de waterkering. Het signaleringsprofiel wordt vanaf de dijk opgebouwd uit twee gedeelten: een horizontaal deel vanaf de buitenteen (de marge), en vanaf dat punt een lijn onder een taludhelling. Het schadelijkheids criterium luidt, dat op een vastgesteld niveau (het beoordelingsniveau) de geuloever niet landwaarts van het signaleringsprofiel mag liggen. De uitwerking van het schadelijkheids criterium bestaat uit vier stappen: bepaling van het horizontale deel van het signaleringsprofiel (de benodigde marge), bepaling van het hellende deel van het signaleringsprofiel, bepaling van het beoordelingsniveau en vergelijking van de aanwezige ligging met het signaleringsprofiel.

Een belangrijke parameter is de dikte van de verwekingsgevoelige laag H_{vw} . Indien geen informatie voorhanden is over de aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen kan er in eerste instantie vanuit gegaan worden dat de dikte van de verwekingsgevoelige laag H_{vw} gelijk is aan de geuldiepte H (standaardgeval; § B4.1). Bij meer informatie kan de werkwijze gevolgd worden volgens § B4.2 (deels verwekingsgevoelig voorland) of § B4.3 (met vooroeverbestorting).

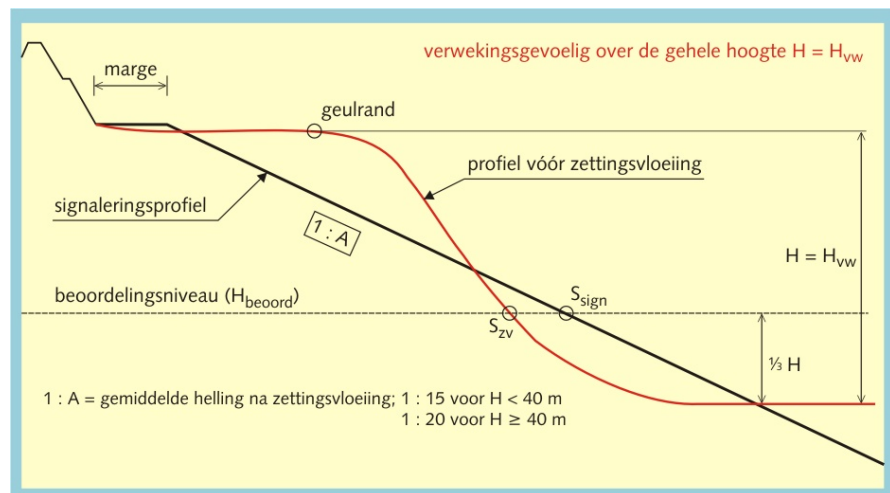
Bij de uitwerking van deze stappen moet zorgvuldig worden omgegaan met deels verwekingsgevoelige voorlanden en met bestortingen; dit wordt verderop in deze Bijlage apart besproken.

B4.1 Standaardgeval (zonder vooroeverbestortingen)

Het signaleringsprofiel voor het standaardgeval (geen bestorting, het gehele voorland wordt als verwekingsgevoelig aangenomen) is weergegeven in Figuur 9 - B4.1. Daarin geldt dus $H = H_{vw}$.

Figuur 9 - B4.1

Signaleringsprofiel zettingsvloeiing onbestorte oever



Voor zettingsvloeiing bij onbestorte oevers worden de volgende drie stappen doorlopen:

1. bepaling van het signaleringsprofiel:
 - a. de benodigde marge (het horizontale gedeelte van het signaleringsprofiel) is groter naarmate de geul dieper is. Voor de rekenwaarde van de marge geldt de volgende uitdrukking: $\text{de marge} = 2 \cdot H_{vw} = 2 \cdot H$;
 - b. het hellende deel van het signaleringsprofiel sluit aan op het horizontale deel. De te hanteren taludhelling is vastgesteld op grond van ervaringsgegevens en is afhankelijk van de geuldiepte: 1:15 voor $H < 40$ m, 1:20 voor $H \geq 40$ m. De te hanteren geuldiepte is dus onafhankelijk van de laagdikte en ligging van de verwekingsgevoelige lagen;
2. bepaling van het beoordelingsniveau. Het beoordelingsniveau ligt op een hoogte van $1/3 \cdot H$ boven de geulbodem.
3. vergelijking van het signaleringsprofiel met het aanwezige profiel. Op het beoordelingsniveau worden twee punten gedefinieerd. Het signaleringspunt S_{sign} is het snijpunt van het signaleringsprofiel met het beoordelingsniveau. Het zettingsvloeiingspunt S_{zv} is het snijpunt van het aanwezige profiel met het beoordelingsniveau. Er wordt niet aan het schadelijkheids criterium voldaan als het zettingsvloeiingspunt S_{zv} landwaarts ligt van het signaleringspunt S_{sign} .

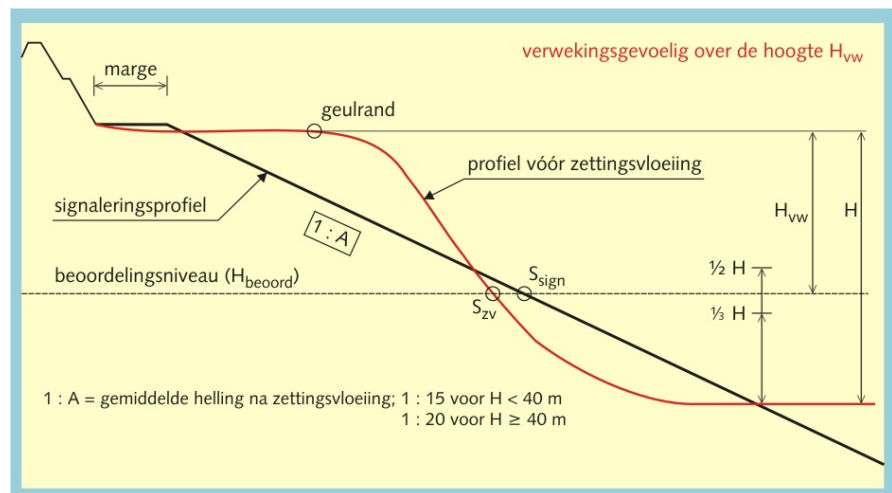
B4.2 Deels verwekingsgevoelig voorland

De werkwijze bij een deels verwekingsgevoelig voorland is als volgt: bestorte of niet-verwekingsgevoelige lagen onderin de geul kunnen worden behandeld als niet-verwekingsgevoelig, maar de gehele oever erboven moet worden beschouwd als verwekingsgevoelig. Deze conservatieve benadering wordt gebruikt in de geometrische toetsing omdat een zettingsvloeiing die onderin de geul ontstaat, niet zal worden tegengehouden door de aard van het materiaal hoger in de geuloever. Een niet-verwekingsgevoelig gedeelte of een bestorting onderin de geul moet in dat geval overigens wel worden gecontroleerd op het optredings- en schadelijkheids criterium van afschuiving (zie stap 2 en 4 van het beoordelings schema in Figuur 9 - 2.4). Voor de bepaling van de verwekingsgevoeligheid van het materiaal wordt verwezen naar Bijlage 9 - 6.

Het signaleringsprofiel voor een gedeeltelijk verwekingsgevoelig voorland is weergegeven in Figuur 9 - B4.2.

Figuur 9 - B4.2

Signaleringsprofiel zettingsvloeiing gedeeltelijk verwekingsgevoelige onbestorte oever



Voor zettingsvloeiing bij deels verwekingsgevoelig voorland worden eveneens de volgende drie stappen doorlopen:

1. bepaling van het signaleringsprofiel:
 - a. de benodigde marge (het horizontale gedeelte van het signaleringsprofiel) is groter naarmate de geul dieper is en de verwekingsgevoelige laag dikker is. Voor de rekenwaarde van de marge geldt de volgende uitdrukking:

$$\text{de marge} = 2 \cdot H_{vw} + 1,5 \cdot (H - H_{vw});$$
 - b. deze stap is voor een deels verwekingsgevoelig voorland hetzelfde als voor het standaardgeval, zie § B4.1;
2. bepaling van het beoordelingsniveau. Het beoordelingsniveau is in principe de onderkant van de verwekingsgevoelige laag, maar ligt minimaal op een hoogte van $1/3 \cdot H$ en maximaal op een hoogte van $1/2 \cdot H$ boven de geulbodem. Als de geul van bovenaf over meer dan $2/3$ van de hoogte verwekingsgevoelig is ($H_{vw} > 2/3 \cdot H$), dan ligt het beoordelingsniveau op $1/3 \cdot H$ boven de geulbodem. Als de geul van bovenaf over minder dan de helft verwekingsgevoelig is ($H_{vw} < 1/2 \cdot H$), dan ligt het beoordelingsniveau op $1/2 \cdot H$ boven de geulbodem;
3. deze stap is voor een deels verwekingsgevoelig voorland hetzelfde als voor het standaardgeval, zie § B4.1.

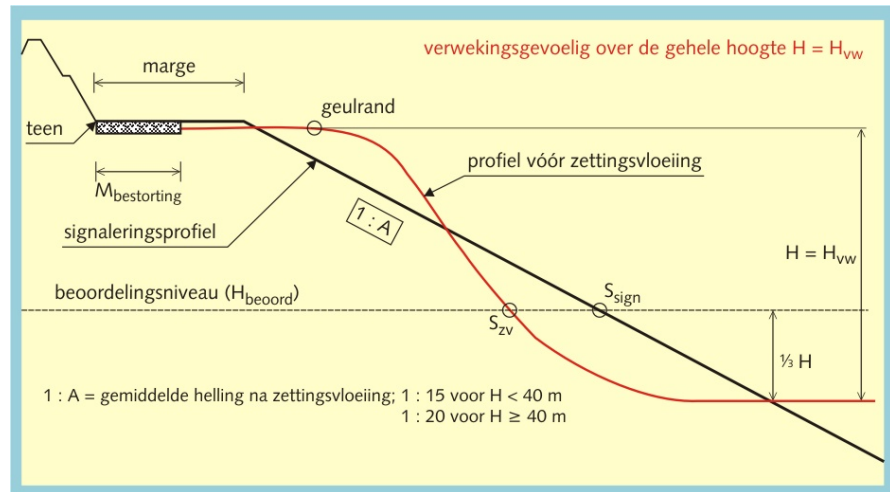
B4.3 Situatie met een vooroeverbetorting

Een uitzondering op deze regel wordt gevormd door bestorte vooroevers waar de bestorting aansluit op de teen. Toetsing op zettingsvloeiing is vanzelfsprekend niet nodig als alle verwekingsgevoelige lagen worden bedekt door de bestorting. Als lager dan het uiteinde van de bestorting echter onbedekte verwekingsgevoelige lagen voorkomen (bijvoorbeeld door verdieping van de geul sinds het bestorten), geldt de aanvullende eis dat de bestorting niet mag worden bereikt door een eventuele inscharing. In dat geval worden het signaleringsprofiel en het beoordelingsniveau enigszins anders gedefinieerd. De afwijkende werkwijze wordt gevolgd voor alle gevallen waarbij de bestorting aansluit op de teen, onafhankelijk van de lengte van de bestorting. Als de bestorting niet aansluit op de teen, geldt de werkwijze zoals beschreven in § B4.2.

Het signaleringsprofiel voor dit bijzondere geval is weergegeven in Figuur 9 - B4.3 voor een voorland dat over de gehele hoogte als verwekingsgevoelig wordt aangenomen en in Figuur 9 - B4.4 voor een gedeeltelijk verwekingsgevoelig voorland.

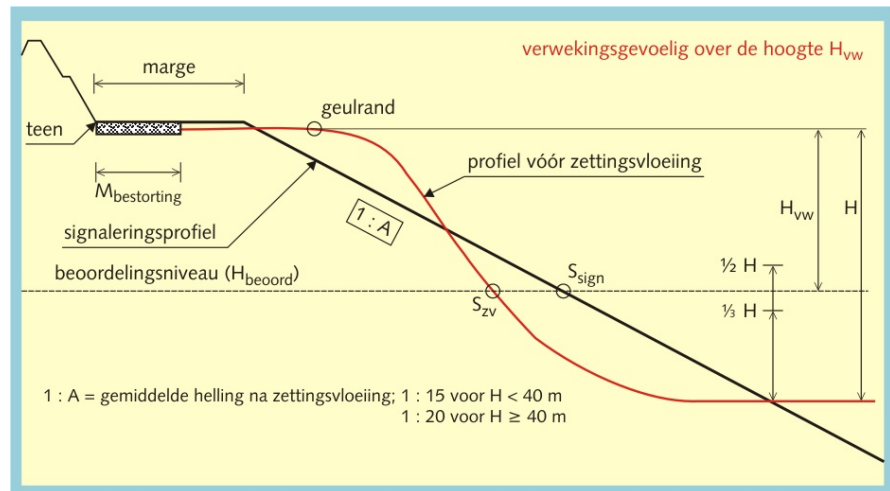
Figuur 9 - B4.3

Signaleringsprofiel zettingsvloeiing bestorte oever



Figuur 9 - B4.4

Signaleringsprofiel zettingsvloeiing gedeeltelijk verwekingsgevoelige bestorte oever



De drie stappen verlopen als volgt:

1. bepaling van het signaleringsprofiel:
 - a. vanaf de teen van de dijk volgt het signaleringsprofiel de ligging van de bestorting, (dus niet een horizontale lijn zoals in het standaardgeval). Zie Figuur 9 - B2.3 voor de bepaling van de marge en zie § B4.2 voor de bepaling van M_{rek} .
 - b. het hellende deel van het signaleringsprofiel sluit aan op het deel dat is bepaald in stap 1 (dus ófwel het werkelijke uiteinde van de bestorting, ófwel een punt op datzelfde niveau, maar verder van de dijk af). De taludhellingen zijn hetzelfde als voor het standaardprofiel (1:15 voor $H < 40$ m, 1:20 voor $H \geq 40$ m), maar voor de geuldiepte in deze regels hoeft alleen rekening te worden gehouden met het gedeelte onder de bestorting (H_{onbest});
2. bepaling van het beoordelingsniveau. Ook voor de bepaling van het beoordelingsniveau hoeft alleen te worden gekeken naar het gedeelte onder de bestorting H_{onbest} . Daarbinnen gelden dezelfde regels als voor het standaardgeval: het beoordelingsniveau is in principe de onderkant van de verwekingsgevoelige laag, maar ligt minimaal op een hoogte van $1/3 \cdot H_{onbest}$ en maximaal op een hoogte van $1/2 \cdot H_{onbest}$ boven de geulbodem (zie Figuur 9 - B4.4). Als de geuloever onder de bestorting volledig verwekingsgevoelig is, ligt het beoordelingsniveau dus op $1/3 \cdot H_{onbest}$ boven de geulbodem (zie Figuur 9 - B4.3);

-
-
3. de vergelijking van het signaleringsprofiel met het aanwezige profiel verloopt hetzelfde als voor het standaardgeval.

Bijlage 9 - 5: Optredingscriterium zettingsvloeiing

Het optreden van een zettingsvloeiing is mogelijk als wordt voldaan aan één van de volgende twee voorwaarden:

- de gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1:4, over een hoogte van minimaal 5 m;
- de totale helling (geulrand-geulbodembodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1:7.

Als een deel van de oever is bestort of als voor een deel van de oever vaststaat dat het materiaal niet verwekingsgevoelig is (zie Bijlage 9 - 6), kan dat als volgt worden verwerkt: bestorting of niet-verwekingsgevoelige lagen onderin de geul hoeven niet te worden beschouwd bij dit criterium, maar de gehele oever erboven moet worden meegerekend als verwekingsgevoelig. Dit geldt dus ook voor eventuele bestortingen die aansluiten op de teen.

Bijlage 9 - 6: Verwekingsgevoeligheid

Afhankelijk van de omstandigheden kan de bepaling van de werkelijke verwekingsgevoeligheid relatief eenvoudig, maar ook zeer geavanceerd zijn.

Met eenvoudige regels kan in bepaalde omstandigheden worden uitgesloten dat materiaal verwekingsgevoelig is:

- er zijn enkele grondsoorten en materialen aan te geven die zeker niet verwekingsgevoelig zijn, zoals cohesieve lagen en grof materiaal zoals mijnsteen;
- als de grond bestaat uit zandlagen, is het lastiger te bepalen of het verwekingsgevoelig is. Bij het fenomeen zettingsvloeiing wordt vaak gekeken naar het (geologisch) verleden. In natuurlijke grondlagen die relatief snel zijn afgezet kan gemakkelijk een losse pakking zijn ontstaan. De kans is groot dat hierin al eerder zettingsvloeiingen zijn opgetreden. Voorbeelden hiervan zijn de Zeeuwse estuaria, IJmuiden en Eemshaven. In het algemeen kan worden gesteld dat in getijdengebieden en voormalige getijdengebieden alle zandlagen in eerste instantie moeten worden aangeduid als verwekingsgevoelig, tenzij bekend is dat de zandlagen zijn verdicht;
- ook langs rivieren is zettingsvloeiing mogelijk. Voorlanden kunnen bestaan uit opgespoten zand dat deels onder water is aangebracht. Bij buitenwaartse dijkversterking hangt veel af van de opbouw van de onderwaterfundatie. Hiervoor werd in het verleden vaak grof materiaal, zoals mijnsteen, gebruikt. Nu mijnsteen uit milieuoverwegingen minder toepasbaar wordt, komt het voor dat hiervoor zand wordt gebruikt. Als zand onder water wordt gestort zal een losse pakking ontstaan, wat betekent dat het materiaal waarschijnlijk verwekingsgevoelig is. In het algemeen kan worden gesteld dat in het rivierengebied, buiten het getijdengebied, de zandlagen niet verwekingsgevoelig zijn, met twee uitzonderingen: zandopspuiting op het voorland of onder het dijklichaam en zandwinputten in uiterwaarden.

Als deze eenvoudige regels geen uitsluitel geven, wordt in de praktijk in veel gevallen een specialist ingeschakeld om concrete uitspraken te doen over verwekingsgevoeligheid. In § 5.7 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] worden daarvoor de volgende aandachtspunten gegeven. Sonderingen en eventueel korrelverdelingen uit boringen geven een eerste globale indruk betreffende de pakking (los, middelmatig, vast) en de gradatie van het zand, en daarmee een globale indruk over de verwekingsgevoeligheid. Met de huidige stand van de kennis is het echter nog niet mogelijk om hiervoor algemene criteria te geven. Voor een nauwkeuriger bepaling van de verwekingsgevoeligheid kan een dichtheidsonderzoek bestaande uit sondering, elektrische dichtheidsmetingen en boringen worden uitgevoerd. Van zandmonsters uit de boringen kunnen de korrelverdeling, de maximum- en minimum dichtheid, de droge en/of natte korrelverdeling alsmede ijkwaarden voor de elektrische dichtheidsmetingen worden bepaald. Door middel van de elektrische dichtheidsmeting in combinatie met de ijkwaarden kan het poriëngehalte van het in situ aanwezige zand worden vastgesteld.

Katern 10

Niet-waterkerende objecten

1 Inleiding

1.1 Niet-waterkerende objecten

Onder niet-waterkerende objecten worden alle objecten verstaan die geen functioneel deel uitmaken van de waterkering. In geval van combinaties van waterkerende en niet-waterkerende constructies (bijvoorbeeld keermuren die deel uitmaken van de bebouwing maar ook een waterkerende functie hebben) wordt onderscheid gemaakt tussen bijzondere waterkerende constructies (de keermuur) en het niet-waterkerend object (de bebouwing zonder keermuur).

Bijzondere waterkerende constructies nemen geheel of gedeeltelijk de waterkerende functie van een dijk of duinenrij over. De toetsing van bijzondere waterkerende constructies wordt behandeld in Katern 7.

In dit katern worden niet-waterkerende objecten naar type gecategoriseerd:

- begroeiing;
- bebouwing;
- pijpleidingen en kabels;
- overige constructies (wegen, landhoofden, geleidewerken, steigers, niet-waterkerende kade-constructies).

Deze indeling in categorieën niet-waterkerende objecten is niet gelijk aan de indeling in constructietypes die gehanteerd wordt voor waterkerende kunstwerken (type I t.m IV, zie § 1.1 van Katern 7). Niet-waterkerende constructies zijn constructies van het type IV.

De in dit katern beschreven methode voor de beoordeling van het effect van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen is uitsluitend van toepassing op niet-waterkerende objecten op, in of nabij dijken en dammen. De beoordeling van het effect van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen van duinen wordt beschreven in § 4.2.3 van Katern 6.

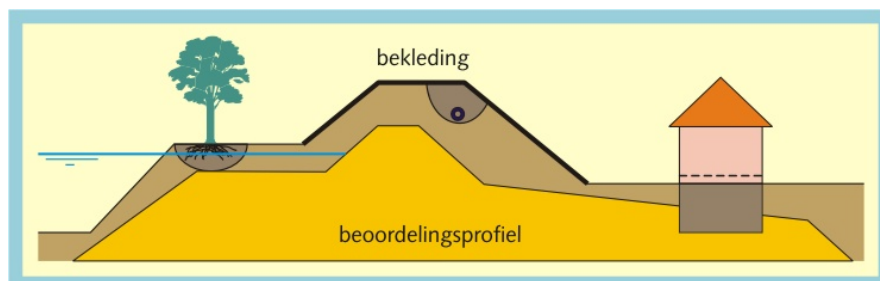
1.2 Essentie van de toetsmethode

In dit katern wordt de toetsing van niet-waterkerende objecten behandeld. In feite wordt getoetst of de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten er toe leidt dat de score voor de waterkering 'onvoldoende' wordt. Uitgangspunt daarbij is het toetsingsresultaat van de waterkering op grond van de Katernen 5 tot en met 9. Als de waterkering ook zonder niet-waterkerende objecten al een score 'onvoldoende' heeft, is toetsing van de niet-waterkerende objecten strikt genomen niet nodig, maar voor het vaststellen van de benodigde voorzieningen is het vanzelfsprekend wel nodig om de invloed van de niet-waterkerende objecten te kennen. Het resultaat van de beoordeling volgens dit katern moet niet worden gezien als de score van het niet-waterkerend object, maar als de score van de waterkering inclusief het niet-waterkerend object.

De essentie van het toetsen van niet-waterkerende objecten is het beoordelen of het object het grondlichaam van de waterkering niet zodanig kan beïnvloeden dat een onveilige situatie ontstaat. De eerste stap hierin is om een beoordelingsprofiel te bepalen dat in principe niet door verstoringzones van niet-waterkerende objecten mag worden doorsneden (zie Figuur 10 - 1.1). Het beoordelingsprofiel is een theoretisch minimum profiel dat wordt toegepast om globaal na te kunnen gaan wanneer een verstoring een bedreiging kan vormen voor het waterkerend vermogen van de waterkering.

Figuur 10 - 1.1

Principe toetsing niet-waterkerende objecten



In hoofdstuk 3 van dit katern worden handreikingen gedaan voor het bepalen van een dergelijk beoordelingsprofiel. In de praktijk zal nog de nodige ervaring moeten worden opgedaan met het bepalen van beoordelingsprofielen met als gevolg dat de in hoofdstuk 3 beschreven methode als nog niet volledig uitgekristalliseerd moet worden beschouwd. Voorlopig is de methode dan ook bedoeld als veilig grof filter voor de grote groep standaardgevallen en zal voor specifieke gevallen (zoals bijvoorbeeld hoge flats tegen de dijk of windmolens) een gedetailleerde toetsing of maatwerk nodig zijn.

In gevallen waarbij het beoordelingsprofiel wel wordt doorsneden door verstoringzones is een gedetailleerde beoordeling van de invloed van het niet-waterkerend object op de waterkering noodzakelijk. Dit kan betekenen dat de verstoringzone van het niet-waterkerend object meer in detail wordt bekeken of dat de stabiliteit van het resterend grondlichaam nader wordt geanalyseerd.

In hoofdstuk 4 is de daadwerkelijke toetsing per categorie niet-waterkerend object beschreven waarbij is aangegeven hoe tot een eindscore kan worden gekomen.

Opgemerkt wordt dat in bepaalde gevallen de locatie van niet-waterkerende objecten (met name als hierdoor de belasting aan de actieve zijde toeneemt) of de verstoringzones (met name als hierdoor de sterkte aan de passieve zijde afneemt) kunnen leiden tot afname van de stabiliteit van het fysiek aanwezige profiel. Daarom kan op basis van de eenvoudige toetsing geen hogere score worden toegekend dan 'voldoende'. Indien aan ontwerpeisen wordt voldaan of een gedetailleerde toetsing wordt uitgevoerd kan de score 'goed' worden gehaald.

Dit katern kan worden toegepast op verschillende types waterkeringen: dijken, dammen, hoge gronden en duinen. Het toetsen van niet-waterkerende objecten volgens dit katern zal in de regel plaatsvinden nadat de waterkering zonder invloed van niet-waterkerende objecten is getoetst volgens Katern 5 tot en met Katern 9. Mocht uit de toetsing volgens Katern 5 tot en met Katern 9 blijken dat de waterkering zonder niet-waterkerende objecten onvoldoende veilig is dan is de vraag gerechtvaardigd of het bepalen van een beoordelingsprofiel en het toetsen op niet-waterkerende objecten zinvol is. In hoofdstuk 3 is aangegeven in welke gevallen het toch zinvol is om een toetsing van het niet-waterkerend object uit te voeren.

2 Belastingen

2.1 Algemeen

De achtergrond van de in dit katern gehanteerde toetsregels is dat de veiligheid van de waterkering, speciaal bij dijken, bij de aanwezigheid van een niet-waterkerend object in gevaar kan komen door:

- verstoring van het grondlichaam;
- externe belastingen;
- waterstroming: erosie/piping/verhoging freatisch vlak;
- beperking van vrijheid van beheer en onderhoud.

In hoofdstuk 4 worden de belastingen per type niet-waterkerende objecten beschreven.

2.2 Verstoring grondlichaam

Een niet-waterkerend object kan het waterkerend vermogen van de waterkering verstoren (denk aan een ontwortelde boom of een exploderende gasleiding) en daardoor de stabiliteit ongunstig beïnvloeden. Vaak gaat het hierbij om calamiteiten aan niet-waterkerende objecten, maar het kan ook gaan om objecten die in niet falende toestand diep 'insnijden' in het grondlichaam zoals onderkelderde bebouwing waarvan de keldermuren niet als waterkerende elementen mogen worden gezien. Bij de beoordeling van verstoringzones is de locatie van het niet-waterkerend object in het dwarsprofiel, de omvang van de verstoringzone en vervolgens de staat van onderhoud van het object cq. de gezondheid in geval van begroeiing van belang.

2.3 Externe belastingen

Een niet-waterkerend object kan externe belastingen introduceren die de stabiliteit van de waterkering ongunstig kunnen beïnvloeden. Zo kan een windbelasting via een boom of gebouw zorgen voor een horizontale belastingscomponent. Een ander voorbeeld van een externe belasting is het eigengewicht van een gebouw op de kruin van de waterkering.

2.4 Grondwater: interne erosie/verhoging freatisch vlak

Een niet-waterkerend object kan een obstakel vormen voor grondwaterstroming. Grondwaterstroming kan zich concentreren bij de overgang tussen stromingsmedium en obstakel. Op deze wijze vormt het niet-waterkerend object een bijzonder aangrijpingspunt voor interne erosieverschijnselen zoals piping. Daarnaast kan een diepe kelder of kruipruimte onder een pand of een ontgrondingskuil als gevolg van een ontwortelde boom of een calamiteit aan een pijpleiding een in- of uitreepunt vormen voor piping. Ook kan de aanwezigheid van een niet-waterkerend object de afstroming van grondwater naar een kwelsloot of ander drainagemiddel ongunstig beïnvloeden met als gevolg een (lokale) verhoging van het freatisch vlak. Verder kan een lekkende waterleiding zorgen voor een verhoging van het freatisch vlak. Een verhoging van het

freatisch vlak vermindert de weerstand tegen afschuiven en heeft dus een negatief effect op de macro- en microstabiliteit van de waterkering.

2.5 Oppervlaktewater: erosie, golfaanval

Oppervlaktewaterstromingen kunnen zich concentreren bij de overgang tussen stromingsmedium en obstakel. Op deze wijze vormt het niet-waterkerend object een bijzonder aangrijpingspunt voor externe erosie.

Niet-waterkerende objecten in duinen kunnen invloed hebben op golven, stroming en wind en veroorzaken daardoor een herverdeling van de externe belasting. Veelal leidt dit tot grotere ruimtelijke gradiënten in de belasting op het (duinen)systeem en daardoor tot ongelijkmatige respons van het systeem. Een voorbeeld hiervan wordt gevormd door ontgrondingskuilen voor muren of soortgelijke harde objecten. Niet-waterkerende objecten (vooral bebouwing en kabels en leidingen) kunnen zodoende de weerstand van een zandige kust tegen erosie nadelig beïnvloeden. Overigens is het precieze patroon van verhoogde erosie (en aanwas) ten gevolge van een niet-waterkerend object onvoorspelbaar.

2.6 Zetting en kiervorming

Indien de ondergrond rondom het niet-waterkerend object meer zakt dan het object zelf, kunnen holle ruimten tussen het object en de ondergrond ontstaan. Deze holle ruimten kunnen aanleiding geven tot het ontstaan van preferente stroombanen die vervolgens kunnen leiden tot interne erosieverschijnselen zoals piping.

2.7 Beperking in vrijheid van beheer en onderhoud

De aanwezigheid van een niet-waterkerend object kan de vrijheid in beheer en onderhoud belemmeren. Indien bebouwing op een deel van de waterkering aanwezig is wordt het deel van de waterkering onder de fundering van de bebouwing aan het zicht onttrokken waardoor de inspecteerbaarheid en mogelijkheden voor onderhoud ernstig worden bemoeilijkt.

3 Beoordelingsprofiel

3.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 is het doel van het bepalen van een beoordelingsprofiel voor de toetsing van niet-waterkerende objecten beschreven. In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke stappen worden doorlopen om te komen tot een beoordelingsprofiel.

Het beoordelingsprofiel is een hulpmiddel bij het **toetsen** van de huidige waterkering om de invloed van de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten op het waterkerend vermogen te kunnen beoordelen. Dit moet niet worden verward met leggerprofiel; dat is het minimaal benodigde profiel om de ontwerpwaterstand te kunnen keren. Naast waterkeren kan het leggerprofiel ook andere functies dienen. In Katern 1 is een aantal verschillen tussen toetsen en ontwerpen nader beschreven.

Er zijn verschillende werkwijzen mogelijk om te komen tot een beoordelingsprofiel dat aan alle beoordelingssporen voldoet. Deze werkwijzen variëren van eenvoudig en ruim tot gedetailleerd en daardoor meer maatwerk. In dit Voorschrift is aangegeven hoe een eenvoudig en ruim beoordelingsprofiel kan worden bepaald. Omdat de methode recent is ontwikkeld worden in dit hoofdstuk alleen de hoofdlijnen behandeld; voor de concrete uitwerking wordt verwezen naar het Achtergrondrapport [47].

3.2 Principe en werkwijze beoordelingsprofiel

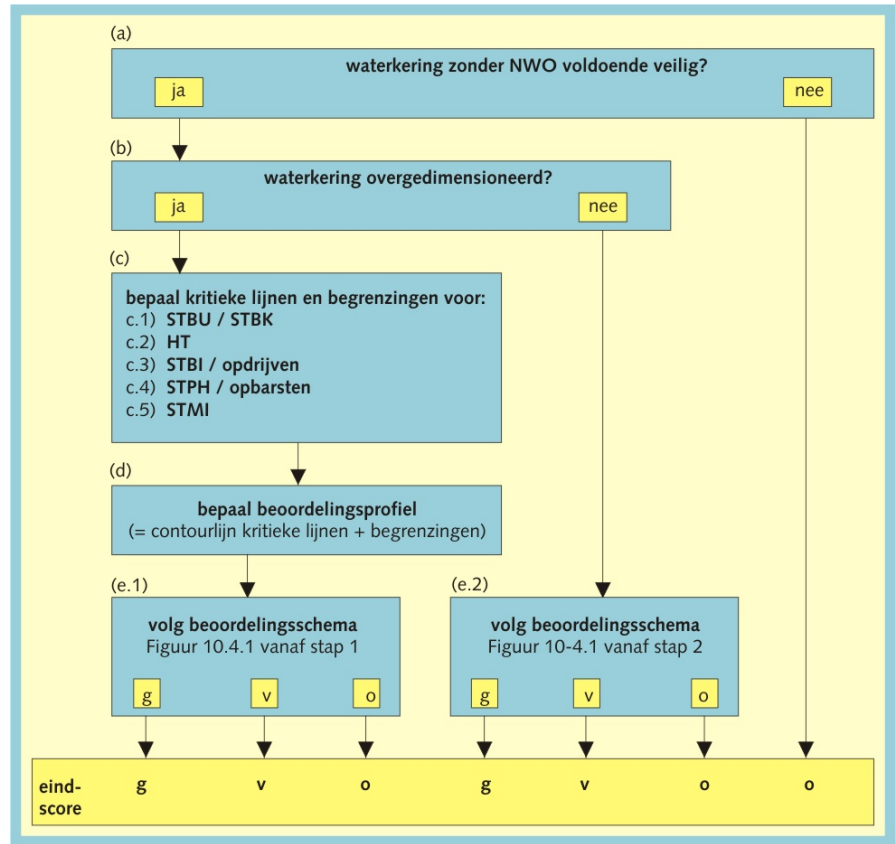
In Figuur 10 - 3.1 is een stapsgewijze aanpak beschreven om te komen tot een beoordelingsprofiel.

Eerst wordt nagegaan of het opstellen van een beoordelingsprofiel voor de specifieke situatie zinvol is. In enkele gevallen kan direct een eindscore worden toegekend. Vervolgens wordt per beoordelingsspoor een zogenaamde kritieke lijn bepaald en worden begrenzingen aangegeven van de zone waarbinnen het te beoordelen faalmechanisme mogelijk nog van invloed is op de stabiliteit van het beoordelingsprofiel. Voor de beoordelingssporen Macrostabiteit binnenwaarts (STBI) en Piping en heave (STPH) is de ligging van de kritieke lijn afhankelijk van het al dan niet gevoelig zijn voor opdrijven of opbarsten van het binnendijkse maaiveld. Uiteindelijk wordt het beoordelingsprofiel bepaald door het tekenen van een contourlijn die de verzameling is van alle kritieke lijnen te samen.

Het beoordelingsprofiel wordt getekend binnen de zogenaamde invloedzone. De begrenzingen van de invloedzone aan de binnen- en buitendijkse zijde van de waterkering worden dusdanig vastgesteld dat de grond buiten de invloedzone niet meer noodzakelijk bijdraagt aan het waarborgen van het waterkerend vermogen. Indien geen geotechnisch onderbouwde begrenzing van de invloedzone beschikbaar is kan als begrenzing van de buitenwaartse invloedzone worden uitgegaan van de beschermingszone zoals is vastgelegd in de legger van de waterkering. Ook kan per beoordelingsspoor op basis van eenvoudige toetsregels een begrenzing worden aangegeven; de in § 3.4 beschreven methode is hierop gebaseerd. De begrenzingen van de invloedzone kunnen worden gezien als de omhullende van de begrenzingen van de individuele beoordelingssporen.

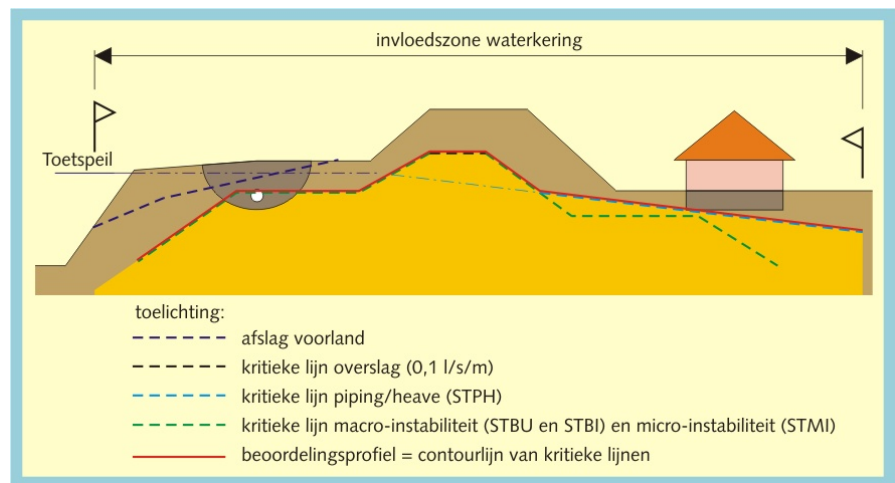
Figuur 10 - 3.1 geeft een stroomschema weer dat kan worden gevolgd om te komen tot een beoordelingsprofiel; dit geeft tevens aan hoe wordt aangesloten op het algemene beoordelingsschema zoals weergegeven in Figuur 10 - 4.1.

Figuur 10 - 3.1
Stroomschema bepalen beoordelingsprofiel



In Figuur 10 - 3.2 is een voorbeeld gegeven van een beoordelingsprofiel voor een overgedimensioneerde dijk met een breed en hoog voorland dat is samengesteld uit verschillende kritieke lijnen voor de afzonderlijke beoordelingssporen Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU), Hoogte (HT), Piping en heave (STPH), Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI) en Microstabieliteit (STMI).

Figuur 10 - 3.2
Voorbeeld van een beoordelingsprofiel



De verschillende stappen uit Figuur 10 - 3.1 worden in navolgende paragrafen beschreven.

3.3 Is het opstellen van een beoordelingsprofiel zinvol?

Hiertoe dienen twee vragen te worden beantwoord:

- a. Is het fysiek aanwezige profiel zonder NWO voldoende veilig?
- b. Is de waterkering overgedimensioneerd?

3.3.1 *Is het fysiek aanwezige profiel zonder NWO voldoende veilig? (stap a)*

Deze vraag wordt beantwoord door het uitvoeren van een toetsing volgens Katern 5 tot en met Katern 9 waarbij de invloed van niet-waterkerende objecten achterwege wordt gelaten. Indien uit deze toetsing volgt dat het fysiek aanwezige profiel van de waterkering onvoldoende veilig is, dan is toetsing van het niet-waterkerend object niet van belang voor het toetsingsresultaat (zie § 1.2 van dit katern), en is dus ook het bepalen van een beoordelingsprofiel op dit deel van de dijk niet zinvol. Voor de niet-waterkerende objecten kan dan direct een eindscore 'onvoldoende' worden toegekend. Zoals behandeld in § 1.2 kan het desondanks nuttig zijn om de invloed van de niet-waterkerende objecten te toetsen met het oog op de benodigde voorzieningen.

3.3.2 *Is de waterkering overgedimensioneerd? (stap b)*

Het vaststellen van het beoordelingsprofiel is alleen zinvol als het fysiek aanwezige grondlichaam is overgedimensioneerd. Het beoordelingsprofiel is immers een minimum profiel binnen het fysiek aanwezige grondlichaam. Globaal kan worden gesteld dat een waterkering niet is overgedimensioneerd indien bij de huidige kruinhoogte een overslagdebiet van maximaal 0,1 l/m/s wordt bepaald, de kruinbreedte maximaal 3 m bedraagt en er een steil binnentalud aanwezig is. Voor kleidijken kan een binnentalud van 1V:2H als steil worden aangemerkt en voor zanddijken 1V:4H.

3.4 Bepalen van kritieke lijnen en begrenzingen

3.4.1 *Kritieke lijn Macrostabieleit buitenwaarts STBU en Bekledingen STBK (stap c.1)*

Als het falen van een niet-waterkerend object op het voorland kan leiden tot onvoldoende veiligheid ten aanzien van erosie, is de kritieke lijn voor Macrostabieleit buitenwaarts gelijk aan het fysiek aanwezige maaiveld. In het andere geval kan een scherpere lijn worden opgesteld. Eerst worden de voorwaarden ten aanzien van erosiebestendigheid van het voorland behandeld, daarna de regels voor de scherpere kritieke lijn.

Voorwaarden erosiebestendigheid voorland

In deze stap wordt nagegaan of het voorland zo hoog en breed is dat erosie in maatgevende omstandigheden de dijk niet zal bereiken. Hiervoor wordt de methode van het afslagprofiel gebruikt. Indien een dusdanig ruim voorland aanwezig is zodat wordt voldaan aan de criteria van een afslagprofiel, mag ervan worden uitgegaan dat de veiligheid ten aanzien van erosie, ook bij falen van een niet-waterkerend object in het voorland, gewaarborgd is. De gedachte hierachter is dat de ontgroning die kan ontstaan na het falen van een niet-waterkerend object een verwaarloosbare invloed heeft op het grootschalig proces van erosie en sedimentatie door golfaanval of stroming. In eerste instantie wordt de conservatieve aanname gedaan dat het voorland geheel uit zand bestaat. Als daarmee niet aan de eis wordt voldaan, kan een afslagprofiel worden opgesteld waarin specifiek rekening is gehouden met lokale omstandigheden zoals de aanwezigheid van klei. Tenslotte kan onder voorwaarden de beschermende werking van constructies of bekledingen in rekening worden gebracht.

In de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] en het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16] is een methode aangereikt om (beginnend vanaf de rivierzijde) veilige afmetingen van een afslagprofiel te bepalen. De dwangpunten en hellingen van het afslagprofiel zijn afgeleid van het evenwichtsprofiel bij duinafslag. Volgens de criteria uit [16] en [7] is het voorland voldoende hoog als het maaiveld boven het Toetspeil plus 0,30 m ligt en voldoende breed als het afslagprofiel tussen het buitenwater en de buitenteen van de dijk past. In aanvulling daarop kan een ruimere eis worden gesteld: het voorland is voldoende breed als het afslagprofiel op het niveau Toetspeil + 0,30 m minimaal de helft van de vereiste kruinbreedte (2 of 3 m, zie § 3.4.2) buitenwaarts van de as van de waterkering ligt. Verwacht kan worden dat dit voor zee- en meerdijken, daar waar sprake is van stevige golfaanval, een redelijke en veilige benadering geeft. Bij dijken in het rivierengebied mag worden verwacht dat de afslag door golfaanval beperkt blijft, maar hier is mogelijk sprake van een ander mechanisme: erosie door stromend water. In het algemeen zal het afslagprofiel zoals in [7] gedefinieerd, bij rivieren een zeer veilig uitgangspunt vormen. Als hier twijfel over bestaat, bijvoorbeeld in een buitenbocht, waar relatief grote stroomsnelheden optreden en er erosiegevoelig materiaal zoals zand aanwezig is, dan dienen controleberekeningen plaats te vinden.

Als niet aan de eisen van voldoende hoog en breed voorland wordt voldaan, wordt met name voor het rivierengebied aangeraden bij het opstellen van het afslagprofiel de stroomsnelheden tijdens maatgevende omstandigheden, de geometrie en grondopbouw te beschouwen en zo mogelijk het afslagprofiel bij te stellen (dus minder conservatief te maken). Hiervoor dient een specialist te worden geraadpleegd.

Indien het afslagprofiel met de twee beschreven werkwijzen niet voldoet aan de criteria, kan de beschermende werking van eventueel aanwezige constructies of bekledingen alsnog in het afslagprofiel worden betrokken. Hierbij geldt uitdrukkelijk de voorwaarde dat falen van een niet-waterkerend object niet mag leiden tot ondermijning van de harde constructie of de bekleding. De veiligheid ten aanzien van erosie moet dus ook in geval van falen van een niet-waterkerend object worden gewaarborgd. Nagegaan moet worden welke belasting een falend niet-waterkerend object kan uitoefenen op de bekleding of de harde constructie. In het Achtergrondrapport [47] wordt deze werkwijze beschreven.

Als met deze regels kan worden aangetoond dat het afslagprofiel de dijk niet bereikt, kan een scherpe kritieke lijn worden opgesteld zoals hieronder beschreven. Als dat niet kan worden aangetoond ligt de kritieke lijn op het fysiek aanwezige maaiveld en buitentalud, tot aan het niveau op het buitentalud waar het oploopdebiet q gelijk is aan 0,1 l/m/s, of tot aan de fysiek aanwezige buitenkruinlijn indien het oploopdebiet daar groter is dan 0,1 l/m/s.

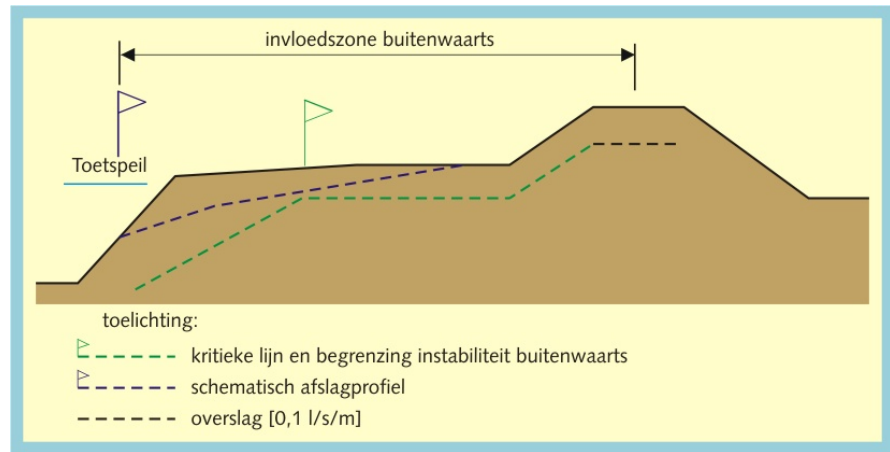
Kritieke lijn voor Macrostabieliteit buitenwaarts

Indien wordt voldaan aan de voorwaarden voor erosiebestendigheid dan kan een kritieke lijn voor Macrostabieliteit buitenwaarts worden bepaald. Indien voor het buitentalud een ontwerpprofiel beschikbaar is, kan dit worden beschouwd als de kritieke lijn.

Indien voor de te beschouwen locatie geen ontwerpprofiel beschikbaar is kan een kritieke lijn worden opgesteld met de werkwijze zoals beschreven in het Achtergrondrapport [47].

Figuur 10- 3.3

Kritieke lijnen voor Macrostabiteit buitenwaarts STBU en Bekleding STBK



3.4.2 Kritieke lijn Hoogte HT (stap c.2)

De kritieke lijn voor de kruin van het beoordelingsprofiel wordt als volgt vastgelegd:

- de kruinhoogte wordt bepaald bij een overslagdebiet van 0,1 l/m/s. Indien de fysiek aanwezige kruinhoogte lager is dan de kruinhoogte bij 0,1 l/m/s dan ligt de kritieke lijn normaal gesproken op de fysiek aanwezige kruin. Het is mogelijk om een lager kruinniveau te kiezen, maar dan moet worden aangetoond dat de grond onder het maaiveld (dus het bijbehorende binnentalud) voldoende erosiebestendig is;
- de kruinbreedte is 2 m voor zee- en meerdijken en 3 m voor rivierdijken;
- de op deze wijze in hoogte en breedte vastgestelde kritieke lijn moet passen binnen het fysiek aanwezige profiel.

De as van de kruin van het beoordelingsprofiel valt samen met de as van de waterkering. Onder strikte voorwaarden kan worden besloten om de as van het beoordelingsprofiel te verschuiven ten opzichte van de as van de waterkering. Deze voorwaarden zijn:

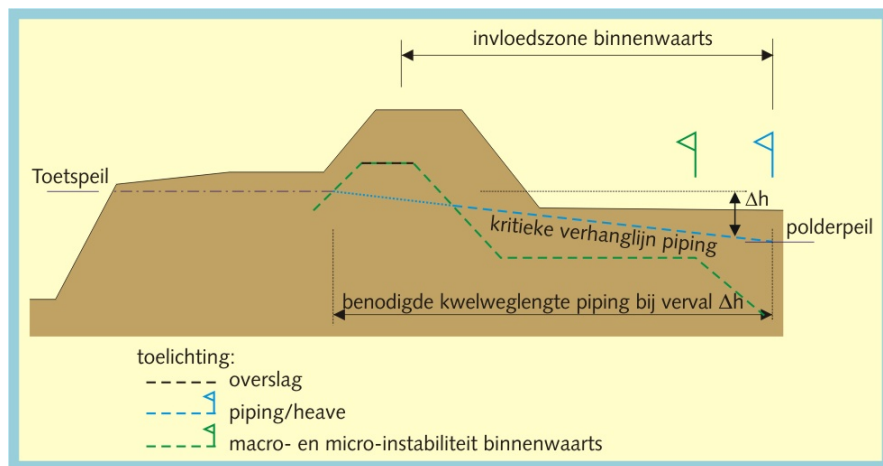
- het beoordelingsprofiel moet binnen het fysieke grondlichaam vallen. Hierbij is het van belang dat de toetsers zich realiseert dat de kruinhoogte van het beoordelingsprofiel niet hoger kan zijn dan het fysieke maaiveld;
- in lengterichting van de waterkering moet sprake zijn van een aaneengesloten kruin van het beoordelingsprofiel.

3.4.3 Kritieke lijn Macrostabiteit binnenwaarts STBI (stap c.3)

Opdrijven van het achterland heeft een grote invloed op de het mechanisme macro-instabiliteit. In § 4.2.3 van Katern 5 is aangegeven wanneer bij het beoordelen van de macrostabiteit rekening moet worden gehouden met opdrijven. Indien voor de specifieke situatie een ontwerpprofiel beschikbaar is, kan dit worden gebruikt als kritieke lijn. Indien geen ontwerpprofiel beschikbaar is en opdrijven een rol kan spelen, is er geen globale toetsing mogelijk. De kritieke lijn ligt in dit geval op het fysieke binnentalud en achterliggende maaiveld. De invloedszone kan in dit geval worden bepaald op basis van geotechnische berekeningen volgens de drukstaafmethode. Indien opdrijven van het fysieke maaiveld geen rol speelt, kan de methode uit het Achtergrondrapport [47] worden gebruikt.

Figuur 10- 3.4

Kritieke lijnen voor Piping en heave (STPH), Binnenwaartse macrostabiteit (STBI) en Microstabiteit (STMI)



3.4.4 Kritieke lijn Piping en heave STPH (stap c.4)

De gevoeligheid van de waterkering ten aanzien van het mechanisme piping is sterk afhankelijk van het type ondergrond en de gevoeligheid voor het mechanisme opbarsten. Er zijn twee situaties te onderscheiden:

1. er is een afdekkend pakket aanwezig dat niet gevoelig is voor opbarsten;
2. er is een afdekkend pakket aanwezig dat gevoelig is voor opbarsten of het afdekkende pakket ontbreekt.

Ad.1

Er is een afdekkend pakket aanwezig dat niet gevoelig is voor opbarsten. Indien er een afdekkend pakket slecht doorlatende lagen (klei/veen) aanwezig is en er uit de toetsing van het fysiek aanwezige grondprofiel volgens Katern 5 blijkt dat het fysiek aanwezige achterland niet gevoelig is voor opbarsten bestaat de kritieke lijn uit een fictief maaiveldniveau waarbij de dikte van het afdekkende pakket dusdanig is dat net geen opbarsten kan optreden.

Ad.2

Er is een afdekkend pakket aanwezig dat gevoelig is voor opbarsten of het afdekkende pakket ontbreekt. Indien uit de toetsing van het fysiek aanwezige grondprofiel volgens Katern 5 blijkt dat het fysiek aanwezige achterland reeds gevoelig is voor opbarsten dan moet worden gecontroleerd of er voldoende kwelweglengte tussen het in- en uittreepunt aanwezig is. De controle op aanwezige kwelweglengte kan worden uitgevoerd door vanaf het intreepunt een kritieke verhanglijn te tekenen (zie Figuur 10 - 3.4). De ligging van het intreepunt is afhankelijk van de geometrie en ondergrond aan buitenwaartse zijde. Zonder uitgebreide geotechnische beschouwing kan voor de kritieke lijn een verhanglijn van 1V:18H worden aangehouden, overeenkomstig de eenvoudige toets volgens Bligh (zie § 4.2.2 van Katern 5).

De begrenzing van de kritieke lijn kan worden getekend op een afstand van $18\Delta H$ vanaf het intreepunt, waarbij ΔH het maximaal verval over de waterkering is (gelijk aan het verschil tussen Toetspeil en polderpeil).

3.4.5 Kritieke lijn Microstabiliteit (stap c.5)

Het mechanisme micro-instabiliteit kan alleen een rol spelen indien er sprake is van een dijk met zandige kern, er water op het binnentalud kan uit treden of de kleibekleding op het binnentalud kan worden opgedrukt door hoge waterspanningen in de zandkern van de dijk en het binnentalud steiler is dan 1V:5H. De kritieke lijn voor microstabiliteit is een taludhelling die zodanig wordt gekozen dat voldaan wordt aan de criteria voor eenvoudige toetsing op Microstabiliteit STMI uit § 4.2.5. van Katern 5.

3.5 Opstellen beoordelingsprofiel

Het beoordelingsprofiel is de contourlijn van alle kritieke lijnen te samen. Het beoordelingsprofiel wordt aan binnen- en aan buitendijkse zijde begrensd; dit zijn de uiteindelijk aan te houden begrenzingen van de invloedzone. Deze begrenzing wordt bepaald door van de begrenziingslijnen per beoordelingsspoor de meest ver van de dijk gelegen begrenzing te nemen (zie Figuur 10 - 3.2). Buiten deze begrenziingslijnen vormen verstoringszones door niet-waterkerende objecten geen bedreiging ten aanzien van de beschouwde mechanismen.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt het beoordelingsprofiel nader uitgewerkt op basis van de eenvoudige geometrische toets voor waterkeringen zoals dijken, dammen en hoge gronden. Voor duinen wordt het beoordelingsprofiel gelijk gesteld aan het grensprofiel zoals beschreven in Katern 6.

Opgemerkt wordt dat Bijzondere Waterkerende Constructies deel uit kunnen maken van het beoordelingsprofiel. Hierbij geldt steeds als algemene regel dat het beoordelingsprofiel (inclusief de Bijzondere Waterkerende Constructie) voldoet aan alle beoordelingssporen van de toetsing. Tevens dient hierbij te worden bedacht dat bij een dergelijke constructie de bepaling van de kritieke lijnen en de begrenzing van de invloedzones kan afwijken van de in § 3.4 van dit katern beschreven methode.

4 Beoordeling per categorie

4.1 Beoordelingsschema

In Figuur 10 - 4.1 is het algemeen beoordelingsschema voor niet-waterkerende objecten weergegeven. Dit schema is op alle categorieën niet-waterkerende objecten toepasbaar. Onderscheid wordt gemaakt in de categorieën: Begroeiing, Bebouwing, Pijpleidingen en kabels en Overige objecten. Per categorie zullen de stappen van dit schema worden toegelicht.

Stap 1 van het schema heeft betrekking op een eenvoudige toetsing op basis van geometrische kenmerken. Hierbij wordt getoetst of de verstoringzone of ontgrondingskuil van het beschouwde niet-waterkerende object het beoordelingsprofiel doorsnijdt.

De stappen 2 tot en met 4 van het schema hebben betrekking op een eenvoudige toetsing op basis van ontwerpberekeningen, waarbij tevens is voorzien in de beoordeling van de aanwezigheid van Bijzondere Waterkerende Constructies (de sterkte hiervan wordt apart getoetst aan de hand van Katern 7).

Stap 5 van het beoordelingsschema heeft betrekking op een gedetailleerde dan wel een geavanceerde toetsing. Onder gedetailleerde toetsing wordt in dit geval verstaan het toetsen volgens vigerende normen, leidraden of technische rapporten. Onder geavanceerde toetsing wordt verstaan het toetsen volgens een methode die niet is vastgelegd in vigerende normen, leidraden of technische rapporten maar alleen op specialistische kennis is gebaseerd. In geval van het toetsen van niet-waterkerende objecten is het onderscheid tussen gedetailleerd en geavanceerd niet altijd even scherp. Bijvoorbeeld wanneer wordt gebruik gemaakt van rekenmethodes uit technische rapporten maar de interactie tussen niet-waterkerend object en waterkering op specialistische kennis berust. Dit wordt per type object beschreven.

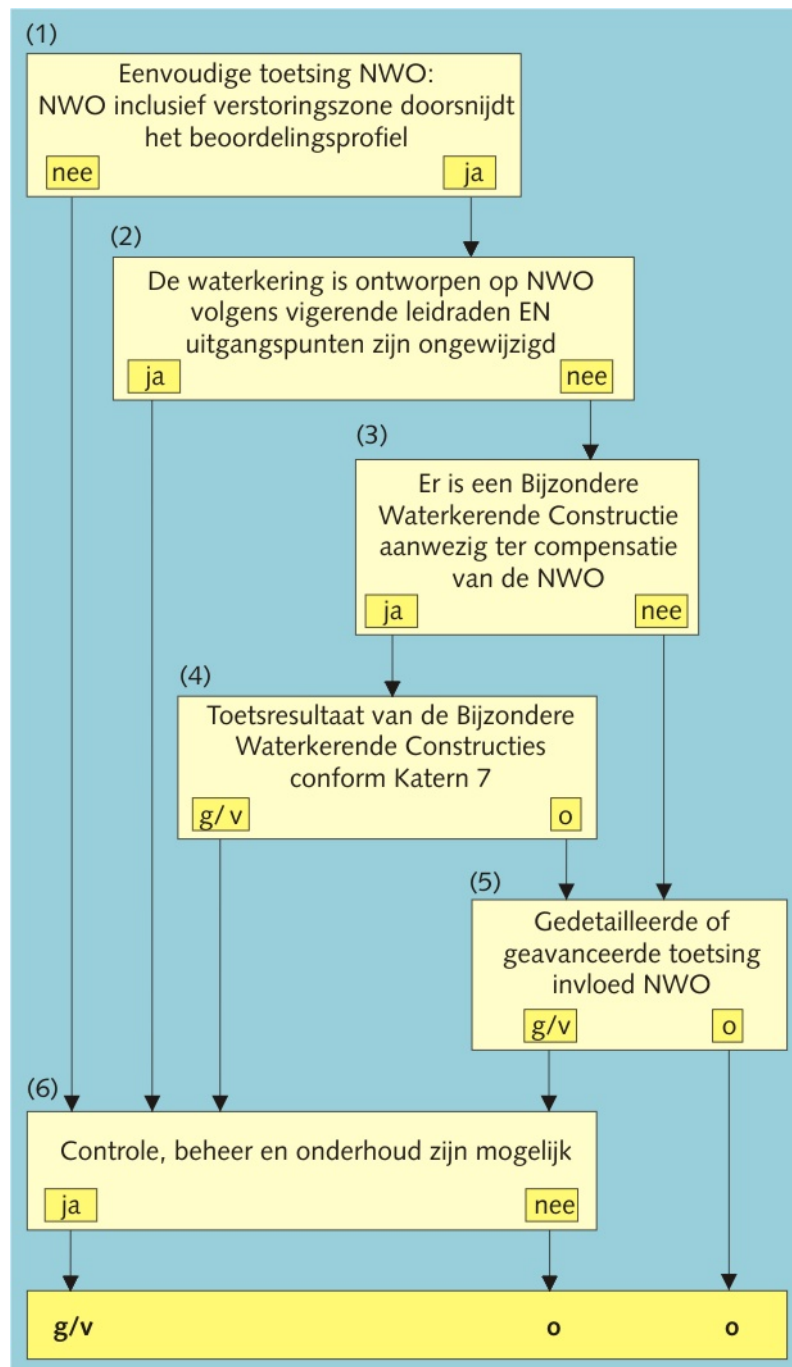
In stap 6 wordt nagegaan of de waterkering met niet-waterkerend object controleerbaar en beheerbaar is. Daarnaast moet worden nagegaan of het niet-waterkerend object het onderhoud ten aanzien van de veiligheid van de waterkering niet in de weg staat.

4.2 Begroeiing

Bij de beoordeling van begroeiing wordt het schema gevolgd van Figuur 10 - 4.1. Daar waar in Figuur 10 - 4.1 wordt gesproken over 'NWO' kan 'begroeiing' worden gelezen. Hieronder is per stap een toelichting gegeven.

Voor laagopgaande bomen en struiken (kleiner dan 5 m hoog) is de kans op ontworteling door windbelasting verwaarloosbaar klein. Deze begroeiing is met betrekking tot geotechnische beoordelingssporen toegestaan.

Figuur 10- 4.1
 Beoordelingsschema niet-waterkerende objecten



Indien kan worden aangetoond dat de boom niet zal omwaaien gedurende de maatgevende omstandigheden behoeft geen rekening te worden gehouden met een ontgrondingskuil. Op dit punt wijkt toetsen af van ontwerpen. Bij ontwerpen wordt ook gekeken naar combinaties van lagere waterstanden en hogere windsnelheden.

Hieronder is per stap een toelichting gegeven.

Stap 1: Beoordelingsprofiel Begroeiing

Voor de bepaling van het beoordelingsprofiel wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van dit katern. Bij de toetsing dient te worden uitgegaan van een ontgrondingskuil bij ontworteling met een diameter van 4 m en een diepte van 1 m, tenzij dit meer nauwkeurig kan worden ingeschat op basis van lokale omstandigheden, boomsoort en dergelijke.

Indien de ontgrondingskuil het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt is de tussenscore 'voldoende' en kan worden verder gegaan naar stap 6. Zo niet dan wordt verder gegaan met stap 2. Bomen die op de kruin of in het talud zijn gesitueerd verdienen bijzondere aandacht. Indien niet kan worden uitgesloten dat er via de boom een ongunstig werkende externe kracht kan worden geïntroduceerd, dient verder te worden gegaan met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Voor het ontwerp van waterkeringen met de aanwezigheid van begroeiing moet gebruik gemaakt zijn van één van ontwerpleidraden of specifieke handreikingen, in het bijzonder het STOWA-rapport Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen [15], de Handreiking Constructief Ontwerpen [7], of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16].

Indien de waterkering volgens deze ontwerpleidraden of handreikingen is ontworpen op de aanwezigheid van begroeiing en de ontwerpuitgangspunten zijn niet ongunstiger dan de uitgangspunten die bij de toetsing gelden, kan worden verder gegaan naar stap 6. Zo niet dan wordt de toetsing vervolgd met stap 3.

Stap 3: Compensatie Begroeiing

Indien een boom inclusief eventueel te veroorzaken ontgrondingskuil het beoordelingsprofiel doorsnijdt, dient te worden nagegaan of er voldoende compenserende maatregelen zijn getroffen om de boom op deze locatie te handhaven. Deze compenserende maatregelen worden gezien als Bijzondere Waterkerende Constructies en vormen een onderdeel van de waterkering. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een functiescheidende damwandconstructie.

Indien een Bijzondere Waterkerende Constructie aanwezig is ter compensatie van een boom kan worden doorgegaan met stap 4, zo niet dan moet worden doorgegaan met stap 5.

Stap 4: Toetsresultaat Bijzondere Waterkerende Constructie

De bijzondere waterkerende constructie dient te worden getoetst aan de hand van Katern 7. Indien de constructie is ontworpen volgens de materiaalgebonden NEN-normen of CUR publicatie 166 (Damwandconstructies) [36] of de Leidraad Kunstwerken[26] wordt dit als gelijkwaardig beschouwd.

Als het resultaat van deze toets een waarde 'goed' of 'voldoende' oplevert (afhankelijk van de toetsing volgens Katern 7) kan verder worden gegaan met stap 6. Zo niet dan verder met stap 5.

Stap 5: Gedetailleerde of geavanceerde toetsing Begroeiing

De toetsing van begroeiing volgt de gedetailleerde en indien nodig de geavanceerde toetsstap van dijken en dammen volgens Katern 5 en Katern 8 en de Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen van STOWA [15]. Met behulp van Tabel 10 - 4.1 kan, afhankelijk van de locatie van de begroeiing in het dwarsprofiel, worden nagegaan welke beoordelingssporen relevant zijn.

Tabel 10 - 4.1
 Beoordelingsschema begroeiing binnen
 beoordelingsprofiel

Beoordelingsspoor (code, Katern)	Locatie van begroeiing binnen dwarsprofiel				
	Voorland	Buiten- talud	Kruin	Binnen- talud	Achter- land
Piping en heave (STPH, K5)	1	-	-	-	2
Macrostabieleit buitenwaarts (STBU, K5)	3	3	3	-	-
Macrostabieleit binnenwaarts (STBI, K5)	4	4	5	5	5
Microstabieleit (STMI, K5)	-	6	-	6	-
Erosie en/of instabiliteit door infiltrerend water (STBK, K8)	-	7	7	7	-

Opmerkingen bij Tabel 10 - 4.1:

1. door het optreden van een ontgrondingskuil na omvallen van een boom (door wind of ijsgang) kan de kwelengte worden verkort waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Het wortelstelsel van de meeste bomen strekt zich uit tot op de dagelijkse grondwaterspiegel. Indien de watervoerende zandlaag zich meer dan 0,5 m onder de dagelijkse grondwaterstand bevindt, kan voor een solitaire boom worden gesteld dat ontworteling niet zal leiden tot een excessieve toename van de kwelstroming. In dit geval hoeft dus niet te worden uitgegaan van een nieuw intreepunt voor piping. In geval van boomgroepen dient een marge van 1 m tussen dagelijkse grondwaterstand en watervoerende zandlaag te worden aangehouden;
2. door het optreden van een ontgrondingskuil na omvallen van een boom kan er een uitreepunt voor piping ontstaan;
3. door de aanwezigheid van een boom en/of het optreden van een ontgrondingskuil na omvallen van een boom kan de stabiliteit ongunstig worden beïnvloed. Een ontgrondingskuil kan een ongunstig effect hebben op het tegenwerkend moment. De aanwezigheid van een boom kan ook leiden tot extra belasting (eigen gewicht en/of windbelasting) hetgeen het aandrijvend moment van een glijvlak kan verhogen. Het wortelstelsel zal in praktijk een zekere bijdrage leveren aan de sterkte. Het meenemen van deze sterkte vereist echter specialistische kennis die niet in vigerende leidraden, handreikingen of technische rapporten is vastgelegd en moet derhalve worden gezien als geavanceerde toetsing;
4. een ontgrondingskuil kan leiden tot een verhoogde intreding van water in de dijk met als gevolg een verhoging van het freatische vlak. Op deze wijze wordt een negatieve bijdrage geleverd aan de macrostabieleit van het binnentalud;
5. door de aanwezigheid van een boom en/of het optreden van een ontgrondingskuil na omvallen van een boom kan de binnenwaartse stabiliteit ongunstig worden beïnvloed. Een ontgrondingskuil kan een ongunstig effect hebben op het tegenwerkend moment. De aanwezigheid van een boom kan ook leiden tot extra belasting (eigen gewicht en/of windbelasting) hetgeen het aandrijvend moment van een glijvlak kan verhogen;
6. een omvallende boom kan een ontgrondingskuil veroorzaken met steile taluds. Indien dit gat onder de kritieke lijn voor microstabieleit is gelegen, kan uitspoeling van grond leiden tot aantasting van de kruin van het beoordelingsprofiel;

7. door de aanwezigheid van een boom en/of het optreden van een ontgrondingskuil na omvallen van een boom kan een stuk onbeschermde grond aanwezig zijn waar, bij overslag of neerslag, erosie en/of instabiliteit van de topklaag door infiltrerend water kan ontstaan. Hierbij dient ook te worden gedacht aan de aanwezigheid van een slechte grasbekleding door de aanwezigheid van een boom.

Indien tegen alle faalmechanismen voldoende veiligheid aanwezig is ondanks de aanwezigheid van de begroeiing is het resultaat van stap 5 'goed' (gedetailleerde toetsing) of 'voldoende' (geavanceerde toetsing) en mag worden doorgegaan met stap 6, zo niet dan is de eindscore van de toetsing op begroeiing 'onvoldoende'.

Stap 6: Controle, beheer en onderhoud Begroeiing

Tenslotte moet worden beoordeeld of controle (ook op activiteiten van derden) en beheer in voldoende mate kan worden uitgeoefend en of de begroeiing het onderhoud ten aanzien van de veiligheid van de waterkering niet in de weg staat. Indien dit het geval is, dan is de score gelijk aan de uitkomst van stap 1, 2, 4 of 5. Een positieve uitkomst van stap 2 moet in dit geval worden gezien als de uitkomst 'goed'. Indien niet aan eisen ten aanzien van controle, beheer en onderhoud wordt voldaan is de eindscore 'onvoldoende'.

4.3 Bebouwing

Bij de beoordeling van bebouwing wordt het schema gevolgd van Figuur 10 - 4.1. Daar waar in Figuur 10 - 4.1 wordt gesproken over 'NWO' kan 'bebouwing' worden gelezen. Hieronder is per stap een toelichting gegeven.

Stap 1: Beoordelingsprofiel Bebouwing

Ontgrondingen kunnen ontstaan na het bezwijken van de bebouwing. In de situatie zonder bezwijken kan er echter sprake zijn van een verstoring in het dwarsprofiel, bv. als gevolg van de aanwezigheid van een kruipruimte of kelder. Voor het vaststellen van het ontgrondingsprofiel is geotechnische kennis noodzakelijk.

Geheel door grond omsloten dichte funderingselementen op staal zijn binnen het beoordelingsprofiel toelaatbaar (geen kelderconstructies en kruipruimten) indien aan de volgende voorwaarden voldaan is:

- de funderingselementen de buitendijkse kleiafdekking niet op een dusdanige wijze doorsnijden dat mogelijk gevaar voor piping kan optreden;
- de funderingselementen niet waterdoorlatend zijn.

Ook funderingspalen zijn binnen het beoordelingsprofiel toelaatbaar op voorwaarde dat deze zodanig zijn uitgevoerd dat zij geen aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van piping. Palen met een verzwaarde punt zullen in veel gevallen niet acceptabel zijn en ook op palen gefundeerde buitendijks gelegen bouwwerken die kunnen opdrijven, zijn niet acceptabel.

Voor de bepaling van het beoordelingsprofiel wordt verwezen naar hoofdstuk 3. In deze stap is het uitgangspunt dat de bebouwing bezwijkt, ongeacht de staat waarin deze verkeert of de kans op calamiteiten die bezwijken kunnen veroorzaken.

Indien het bouwwerk inclusief verstoringzone of ontgrondingskuil het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt, geldt de score 'voldoende' en moet de toetsing worden vervolgd met stap 6. Zoniet dan wordt doorgegaan met stap 2.

Bouwwerken die op de kruin of in het talud zijn gesitueerd, verdienen bijzondere aandacht. Indien niet kan worden uitgesloten dat er via het bouwwerk een ongunstig werkende externe kracht kan worden geïntroduceerd, dient te worden verder gegaan met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

Voor het ontwerp van waterkeringen met de aanwezigheid van bebouwing moet gebruik zijn gemaakt van één van ontwerpleidraden of handreikingen, in het bijzonder de Leidraad Kunstwerken [26], de Handreiking Constructief Ontwerpen, [7] of het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16].

Indien de waterkering volgens deze ontwerpleidraden of handreikingen is ontworpen op de aanwezigheid van bebouwing en de ontwerpuitgangspunten zijn niet ongunstiger dan de uitgangspunten die bij de toetsing gelden, kan worden verder gegaan naar stap 6. Zo niet dan wordt de toetsing vervolgd met stap 3.

Stap 3: Compensatie Bebouwing

Indien een bouwwerk aanwezig is dat het beoordelingsprofiel doorsnijdt dient te worden nagegaan of er voldoende compenserende maatregelen zijn getroffen om de bebouwing op deze locatie te kunnen handhaven. Deze compenserende maatregelen worden gezien als bijzondere waterkerende constructies en vormen een onderdeel van de waterkering. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een keldermuur en keldervloer die als onderdeel van de waterkering kunnen worden beschouwd of kwelschermen die rondom de bebouwing zijn aangebracht ter voorkoming van zandmeevoerende wellen onder het bouwwerk.

Indien een Bijzondere Waterkerende Constructie aanwezig is ter compensatie van het bouwwerk, wordt doorgegaan met stap 4, zo niet dan moet worden doorgegaan met stap 5.

Stap 4: Toetsresultaat Bijzondere Waterkerende Constructie

De bijzondere waterkerende constructie dient te worden getoetst aan de hand van Katern 7. Indien de constructie is ontworpen volgens de materiaalgebonden NEN-normen of CUR publicatie 166 (Damwandconstructies) [15] of de Leidraad Kunstwerken [26] wordt dit als gelijkwaardig beschouwd.

Als het resultaat van deze toets een waarde 'goed' of 'voldoende' (afhankelijk van de toetsing volgens Katern 7) oplevert, kan worden verder gegaan met stap 6. Zo niet dan verder met stap 5.

Stap 5: Gedetailleerde of geavanceerde toetsing Bebouwing

De in deze stap beschreven toetsing is een combinatie van gedetailleerde en geavanceerde toetsing. Voor de (reken)methodes die worden gebruikt wordt verwezen naar de gedetailleerde en geavanceerde toetsing in Katern 5 en Katern 8. Met behulp van Tabel 10 - 4.2 kan, afhankelijk van de locatie van de bebouwing in het dwarsprofiel, worden nagegaan welke beoordelingssporen uit Katern 5 en Katern 8 relevant zijn. Vanwege de complexiteit van deze toetsing is in veel gevallen specialistische kennis vereist die niet is vastgelegd in vigerende leidraden, normen of technische rapporten.

Indien kan worden aangetoond dat bezwijken van de bebouwing (of een onderdeel hiervan) door een slechte staat van onderhoud of het optreden van een calamiteit kan worden uitgesloten, hoeft geen rekening te worden gehouden met de afwezigheid van de bebouwing of een restprofiel na bezwijken. Voor de controle van sterkte en stabiliteit van bebouwing wordt verwezen naar Katern 7.

Tabel 10 - 4.2
 Beoordelingsschema bebouwing binnen
 beoordelingsprofiel

Beoordelingsspoor (code, Katern)	Locatie van bouwwerk binnen dwarsprofiel				
	Voorland	Buiten- talud	Kruin	Binnen- talud	Achter- land
Piping en heave (STPH, K5)	1	1	-	2	2
Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU, K5)	3	3	3	-	-
Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI, K5)	4	4	5	5	5
Microstabieliteit (STMI, K5)	-	6	6	6	-
Erosie en/of instabiliteit door infiltrerend water (STBK, K8)	-	7	7	7	-

Opmerkingen bij Tabel 10 - 4.2:

1. door de aanwezigheid en/of falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan de kwelweglengte worden verkort waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Hierbij dient ook te worden gedacht aan het vervangen van slecht doorlatende lagen door een grondverbetering van zand;
2. door de aanwezigheid en/of falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan er een uittreepunt voor piping ontstaan. Zo kan een holle ruimte onder de bebouwing een verkorting van de kwelweglengte tot gevolg hebben;
3. door de aanwezigheid en/of falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan de buitenwaarste stabiliteit ongunstig worden beïnvloed. Wanneer een bouwwerk aanwezig is, of door falen juist niet meer aanwezig is, kan dit een ongunstig effect hebben op het tegenwerkend moment. Bovendien kunnen steile taluds door instortende bebouwing leiden tot lokale glijvlakken. De aanwezigheid van bebouwing kan ook leiden tot extra belasting (eigengewicht of windbelasting) hetgeen het aandrijvend moment van een glijvlak kan verhogen. Voor belastingen door windmolens wordt verwezen naar de Leidraad Zee- en Meerdijken [13];
4. de aanwezigheid en/of het falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan leiden tot een verhoogde intreding van water in de dijk met als gevolg een verhoging van het freatische vlak. Op deze wijze wordt een negatieve bijdrage geleverd aan de macrostabieliteit van het binnentalud;

5. door de aanwezigheid en/of falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan de binnenwaartse stabiliteit ongunstig worden beïnvloed. Wanneer een bouwwerk aanwezig is of door falen juist niet meer aanwezig is, kan dit een ongunstig effect hebben op het tegenwerkend moment. Dit geldt voor situaties waarbij het pand zich in het passieve deel van het glijvlak bevindt. De kelder neemt in dit geval een deel van het passief (tegenwerkend) grondmassief weg. Dit geldt voor zowel op staal als op palen gefundeerde bebouwing. Voorzichtigheid dient te worden betracht bij het meenemen van het eigengewicht van de bebouwing. Hierbij dient men zich ervan bewust te zijn dat het gewicht van de bebouwing in dit geval in de veiligheidsbeoordeling als 'sterkte' wordt meegenomen. Bovendien kunnen steile taluds door instortende bebouwing leiden tot lokale glijvlakken. Ook kan de aanwezigheid van een bouwwerk leiden tot een hogere grondwaterstand. De aanwezigheid van bebouwing in het actieve deel van het glijvlak kan leiden tot extra belasting (eigen gewicht en/of windbelasting) hetgeen het aandrijvend moment van een glijvlak kan verhogen. Evenals onder punt 3 wordt voor binnenwaartse stabiliteit opgemerkt dat door windmolens trillingen kunnen worden geïntroduceerd in het dijklichaam. Voor belastingen door windmolens wordt verwezen naar de Leidraad Zee- en Meerdijken [13];
6. instortende bebouwing kan een gat veroorzaken met steile taluds. Indien dit gat onder het sijpelpunt is gelegen, kan uitspoeling van grond optreden. Ook kan de aanwezigheid van een bouwwerk leiden tot een hogere grondwaterstand, waardoor micro-instabiliteit kan optreden;
7. door de aanwezigheid en/of falen van een bouwwerk (instorten of opdrijven) kan een stuk onbeschermde grond voorkomen waar bij overslag of neerslag, erosie en/of instabiliteit van de toplaag door infiltrerend water kan ontstaan. Hierbij dient ook te worden gedacht aan vervanging van slecht waterdoorlatende gronden door zand voor grondverbetering, en niet met een goede grasmat beklede delen door schaduw of tuinaanleg en dergelijke.

Indien tegen alle faalmechanismen voldoende veiligheid aanwezig is ondanks de aanwezigheid van de bebouwing, is het resultaat van stap 5 'goed' (gedetailleerde toetsing) of 'voldoende' (geavanceerde toetsing) en mag worden doorgegaan met stap 6, zo niet dan is de eindscore van de toetsing op bebouwing 'onvoldoende'.

Stap 6: Controle, beheer en onderhoud Bebouwing

Tenslotte moet worden beoordeeld of controle (ook op activiteiten van derden) en beheer in voldoende mate kan worden uitgeoefend en of de bebouwing het onderhoud ten aanzien van de veiligheid van de waterkering niet in de weg staat. Indien dit het geval is, dan is de score gelijk aan de uitkomst van stap 1, 2, 4 of 5. Een positieve uitkomst van stap 2 moet in dit geval worden gezien als de uitkomst 'goed'. Indien niet aan eisen ten aanzien van controle, beheer en onderhoud wordt voldaan is de eindscore 'onvoldoende'.

4.4 Pijpleidingen en kabels

Bij de toetsing van Pijpleidingen en kabels wordt onderscheid gemaakt in:

- in gebruik zijnde pijpleidingen die niet door middel van horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd (zie § 4.4.1 van dit katern);
- in gebruik zijnde pijpleidingen die zijn aangelegd door middel van horizontaal gestuurde boring (zie § 4.4.2 van dit katern);
- verlaten pijpleidingen (zie § 4.4.3 van dit katern). Hieronder vallen niet leidingen die slechts af en toe worden gebruikt voor transport van meerdere stoffen; die worden getoetst op maximale ontwerp druk volgens § 4.4.1 van dit katern;
- kabels en mantelbuizen (zie § 4.4.4 van dit katern).

Navolgende toetsregels zijn niet specifiek per type pijpleiding weergegeven. De eenvoudige toets (stap 1 uit het beoordelingsschema van Figuur 10 - 4.1) is voor elk type pijpleiding van toepassing. De vervolg stappen zijn niet voor elk type pijpleiding uitvoerbaar. Voor een aantal types pijpleiding (bijvoorbeeld asbestcementleidingen) bestaan er geen vigerende rekenregels. In dat geval moet de toetsing na stap 1 direct voortgezet worden met de geavanceerde toetsing uit stap 5.

M
m

Vanwege het specifieke karakter van de Maaskaden en de eisen die hieraan worden gesteld worden voor de Maaskaden specifieke aanvullingen gegeven op de gedetailleerde (stap 5.2) en geavanceerde toetsing (stap 5.3).

4.4.1 In gebruik zijnde pijpleidingen die niet door middel van horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd

Bij de beoordeling van pijpleidingen wordt het schema gevolgd van Figuur 10 - 4.1. De onderbouwing van de hier gepresenteerde toetsmethode staat in het achtergrondrapport van de Studiegroep Pijpleidingen [17].

Stap 1: Beoordelingsprofiel Pijpleidingen

Bij deze stap wordt beoordeeld of de pijpleiding inclusief verstoringzone het beoordelingsprofiel doorsnijdt.

Voor een beschrijving van het beoordelingsprofiel wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van dit katern. Bij verstoring van het grondlichaam wordt onderscheid gemaakt in verstoring door erosie en explosie. Bij verstoring door erosie moet worden gedacht aan ontgroning. Verstoring door explosie kan leiden tot verweking en ontgroning (explosiekrater). In deze stap wordt uitsluitend gekeken naar het restprofiel dat ontstaat na ontgroningen als gevolg van erosie en explosie. In de Handreiking Constructief Ontwerpen [7] zijn eenvoudige kentallen gegeven voor verstoringzones in geval van falende lage druk gas- of vloeistofleidingen met een diameter van maximaal 300 mm. Gasleidingen met een druk kleiner dan 10 bar en waterleidingen met een druk kleiner dan 100 m waterkolom worden aangeduid met lage drukleidingen. In bijlage A van NEN 3651 (versie 2003) [40] zijn geavanceerde methodes beschreven voor het bepalen van mogelijke verstoringzones.

Specifieke aandachtspunten zijn hogere waterspanningen in de ondergrond door lekken van een waterleiding of verweking van grond bij de explosie van gasleidingen. In bijlage A van NEN 3651 [40] wordt een handreiking gedaan voor het bepalen van een verwekingszone. Opgemerkt moet worden dat voor het bepalen van de verwekingszone specialistische kennis vereist is.

Als het beoordelingsprofiel niet wordt doorsneden geldt de score 'voldoende' en wordt verder gegaan met stap 6. Zo niet dan wordt verder gegaan met stap 2.

Stap 2: Gehanteerde ontwerpmethod

De invloed van de pijpleiding op de veiligheid van de waterkering is voldoende klein indien de pijpleiding is ontworpen volgens de vigerende NEN 3650-serie [39] en de vigerende NEN 3651 [40] of de normen die tot en met 2002 gangbaar waren voor pijpleidingen. Dit betreft de oude versie van de normen NEN 3650, NEN 3651 en NEN 3652, inclusief de bijbehorende wijzigingsbladen (deze drie normen zijn vervangen door [40] en [39]), of de Pijpleidingcode van de provincie Zuid-Holland, inclusief alle revisies [5]. Leidingen die vóór 1972 zijn gelegd zijn niet ontworpen volgens voornoemde NEN-normen of de Pijpleidingcode zodat het risico van deze leidingen voor de veiligheid van de waterkering niet zonder meer kan worden goedgekeurd.

Naast de ontwerpgrondslag van de waterkering inclusief de pijpleiding dient te worden nagegaan of de uitgangspunten en randvoorwaarden die bij het ontwerp zijn gehanteerd, niet ongunstiger zijn geworden.

Wordt voldaan aan bovengenoemde voorwaarden, kan worden verder gegaan naar stap 6, zo niet, kan worden verder gegaan naar stap 3.

Stap 3: Compensatie Pijpleidingen

Indien ter compensatie van de pijpleiding afdoende compenserende maatregelen zijn getroffen, is de aanwezigheid van de pijpleiding acceptabel. De compenserende maatregelen worden gezien als Bijzondere Waterkerende Constructies en vormen een onderdeel van de waterkering. Hierbij kan worden gedacht aan een afschermconstructie. Opgemerkt wordt dat een vervangende waterkering in de kruin van de dijk niet in deze stap wordt beoordeeld; dit geschiedt bij stap 5.1.

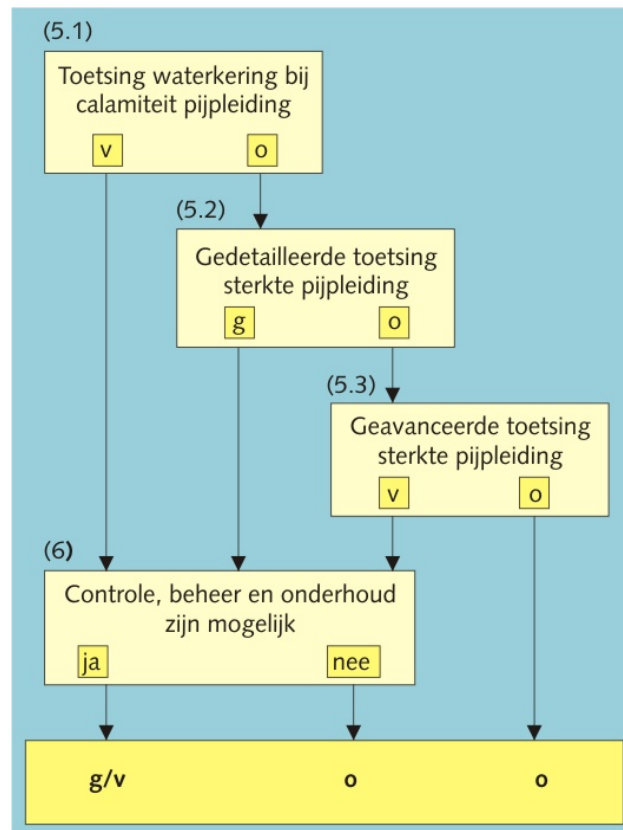
Als een Bijzondere Waterkerende Constructie aanwezig is ter compensatie van de pijpleiding dan verder met stap 4. Zo niet dan verder met stap 5.

Stap 4: Toetsresultaat Bijzondere Waterkerende Constructie

De Bijzondere Waterkerende Constructie dient te worden getoetst aan de hand van Katern 7. Indien de constructie is ontworpen volgens de materiaalgebonden NEN-normen of CUR publicatie 166 (Damwandconstructies) [36] of de Leidraad Kunstwerken [26] wordt dit als gelijkwaardig beschouwd.

Als het resultaat van deze toets een waarde ‘goed’ of ‘voldoende’ (afhankelijk van de toetsing volgens Katern 7) oplevert, kan worden verder gegaan met stap 6. Zo niet dan verder met stap 5.

Figuur 10 - 4.2
Uitwerking stap 5 voor toetsing van pijpleidingen



Stap 5: Toetsing Pijpleidingen

In afwijking van het standaardschema van Figuur 10 - 4.1 vindt de toetsing van stap 5 bij pijpleidingen plaats volgens het deelschema in Figuur 10 - 4.2.

Stap 5.1 Toetsing van waterkering bij calamiteit aan pijpleiding

In gevallen waarbij de pijpleiding inclusief verstoringszone op basis van de voorgaande stappen niet kan worden gehandhaafd, kan, rekening houdend met specifieke (lokale) omstandigheden, een pijpleiding worden toegestaan. In dat geval moet worden aangetoond dat de waterkering voldoende stabiel is bij een verstoring van het grondlichaam door een calamiteit aan de leiding. Dit betekent dat het restprofiel moet worden gecontroleerd op STPH, STBU, STBI, STMI en STBK, analoog aan toetsstap 5 bij bebouwing, zie § 4.3. In geval van parallelle leidingen mag voor stap 5.1 een tussenscore 'voldoende' worden toegekend als aan dit criterium wordt voldaan.

Voor leiding kruisingen en langsledingen in de kruin wordt een aanvullende eis gesteld aan het niveau van onderkant buis. Indien een vervangende waterkering in de kruin in de vorm van een damwandscherm volgens NEN 3651 (2003) [40] aanwezig is, mag ook de bovenkant van de damwand worden aangehouden in plaats van onderkant buis. In dat geval dient bij stap 2 te worden nagegaan of de damwand voldoet aan de eisen van de pijpleidingnormen (Pijpleidingcode of NEN 3651), of aan de eisen van de materiaalgelbonnen NEN-normen (veiligheidsklasse 3), CUR-publicatie 166 [40] (klasse II), of de Leidraad Kunstwerken [26].

Voor de toetsing op hoogteligging geldt de score 'goed' als wordt voldaan aan de eisen van NEN 3651. Eventueel kan, in afwijking van NEN 3651, worden uitgegaan van een aangescherpte hoogte-eis die afhankelijk is van het type leiding. De beoordeling is dan als volgt:

- stalen leiding: toetsresultaat van stap 5.1 is 'voldoende' bij een hoogteligging van minstens het niveau van Toetspeil - 0,50 m;
- niet-stalen leiding: toetsresultaat van stap 5.1 is 'voldoende' bij een hoogteligging van minstens het niveau van Toetspeil.

Indien de leiding niet voldoet aan de criteria in stap 5.1 wordt doorgedaan naar stap 5.2.

Stap 5.2: Gedetailleerde toetsing sterkte Pijpleidingen

Indien niet wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot hoogteligging, dient de toetsing te worden voortgezet volgens § 10.5 'Beheer leiding en waterstaatswerk' en bijlage E uit NEN 3651 (2003) [40]. Afhankelijk van het type leiding (staal of niet-staal) volgt uit de toetsing volgens NEN 3651 de score 'voldoende' of 'goed'. Bij het gebruik van het toetsschema 'Figuur E.3 Toetsing niet-stalen leidingen' uit de bijlage E van NEN 3651 geldt de volgende waarschuwing: voor lage drukleidingen met inwendige diameter kleiner dan of gelijk aan 125 mm mag direct naar de score 'voldoende' worden gegaan maar niet naar de score 'goed' zoals in de NEN 3651 is aangegeven.

M

In het kader van het opstellen van het Voorschrift Toetsen Maaskaden (VTM2006) [44] is de gedetailleerde toetsing in deze stap, conform NEN 3651 (2003) [40], uitgevoerd voor een groot aantal leidingen in de Maaskaden, en gerapporteerd in [30]. Aanbevolen wordt om die studie te gebruiken bij de uitvoering van de toetsing voor deze leidingen.

m

De hierboven gegeven waarschuwing ten aanzien van het gebruik van het toetsschema 'Figuur E.3 Toetsing niet-stalen leidingen' uit de bijlage E van NEN 3651 is niet verwerkt in het resultaat volgens [30], maar dat moet voor de toetsing wel worden gedaan.

Indien de leiding qua sterkte niet voldoet, wordt doorgedaan naar stap 5.3.

M m

Stap 5.3: Geavanceerde toetsing sterkte Pijpleidingen

In bijlage E van de NEN 3651 [40] wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor het toetsen van de pijpleiding op basis van bewezen sterkte of op basis van een faalkans-/risico-analyse. Toepassing hiervan kan resulteert in de score 'voldoende' of 'onvoldoende'. Deze aanbeveling zijn ook van toepassing op de Maaskaden. De aanbevelingen [30] voor de geavanceerde toetsing zijn niet toepasbaar. Hiervoor is specialistische inbreng nodig.

Tenslotte: een mogelijke werkwijze voor de geavanceerde toetsing is om in overleg met de leidingbeheerder overdruk op de leidingen te zetten en daarmee in de praktijk de sterkte van de leidingen te testen.

Als het doorlopen van toetsstap 5 resulteert in 'voldoende' of 'goed', dient te worden verder gegaan met stap 6. Indien de uitkomst van stap 5 gelijk is aan 'onvoldoende' dan is de eindscore 'onvoldoende'.

Stap 6: Controle, beheer en onderhoud Pijpleidingen

In bijlage E van de NEN 3651 (2003) [40] is aangegeven welke voorwaarden er vanuit controle, beheer en onderhoud van de waterkering worden gesteld aan de pijpleiding. Indien de pijpleiding voldoet aan deze voorwaarden, kan een eindscore 'goed' of 'voldoende' worden toegekend (afhankelijk van de uitkomst van stap 1, 2, 4 of 5). Een positieve uitkomst van stap 2 kan hierbij worden gezien als 'goed'; indien niet wordt voldaan aan de voorwaarden, is de eindscore 'onvoldoende'.

4.4.2 In gebruik zijnde pijpleidingen die zijn aangelegd door middel van horizontaal gestuurde boring

Pijpleidingen die zijn aangelegd met behulp van horizontaal gestuurde boring, dienen te worden getoetst aan de eisen van de praktijkrichtlijn NPR 3659 [37] en NEN 3651 (2003) [40]. Toetsing van de aanwezige kwelweglengte is hierbij een bijzonder aandachtspunt.

Indien hieraan wordt voldaan, is de score 'goed', anders 'onvoldoende'.

4.4.3 Verlaten pijpleidingen

Oude pijpleidingen die niet meer in gebruik zijn, dienen uit de waterkering te zijn verwijderd, dan wel te zijn dichtgezet met cement-klei of cement-bentoniet. Indien hieraan wordt voldaan is de score 'goed', anders 'onvoldoende'.

4.4.4 Kabels en mantelbuizen

Kabels worden geacht van weinig invloed te zijn op de veiligheid van waterkeringen en hoeven in principe niet te worden getoetst. Dit geldt niet voor de mantelbuizen waarin de kabel of kabelbundels zijn gelegd. Deze dienen te worden getoetst als drukloze leidingen conform § 4.4.1.

Opgemerkt moet worden dat kabels en leidingen in het dijklichaam vaak minder gewenst zijn omdat onderhoud of het verleggen van kabels en leidingen leiden tot graafwerkzaamheden in het dijklichaam. Aandachtspunten hierbij zijn dat met het juiste materiaal wordt aangevuld en goed wordt verdicht.

4.5 Overige constructies

Bij de beoordeling van landhoofden, geleidewerken, steigers en niet-waterkerende kadeconstructies, dient eerst te worden nagegaan of het geen Bijzonder Waterkerende Constructies of Waterkerende Kunstwerken betreffen (zie Katern 7). Indien is vastgesteld dat het werkelijk gaat om niet-waterkerende objecten, dient het schema van Figuur 10 - 4.1 te worden gevolgd.

Sommige constructies kunnen op gelijke wijze worden getoetst als bebouwing. In de meeste gevallen zal echter maatwerk nodig zijn, waarbij een specialist dient te worden geraadpleegd.

Bijzondere aandacht dient te worden besteed aan de (externe) belastingen die op de constructies aangrijpen.

Bij tunnels wordt de waterkering rondom de tunnel-afrit gevormd door zogenaamde kanteldijken. Deze kanteldijken worden in grond uitgevoerd en dienen aan te sluiten op het punt waar het weglichaam voldoende kerende hoogte heeft. De beoordeling van kanteldijken geschiedt volgens Katern 5. Opgemerkt wordt dat langs het water ter bescherming van de tunnel een kering over het gesloten tunneldeel wordt heengevoerd; deze kering hoeft niet te worden getoetst. Ingeval van beperkte ruimte kunnen in plaats van kanteldijken, kistdammen of damwanden zijn toegepast of fungeert de tunnel met aansluitende afrit plus achter- en onderloopsheidschermen als waterkering. De beoordeling hiervan geschiedt (evenals eventuele afsluitmiddelen) volgens Katern 7.

Wegen en spoorwegen buiten de kernzone hoeven niet te worden getoetst. Voor wegen binnen de kernzone is de hoogteligging bepalend. Voor wegen en spoorwegen onder het Toetspeil dienen de erosiebestendigheid en de overgangs- en aansluitingsconstructies te worden getoetst volgens Katern 8.

Katern 11

Literatuur en rekenmodellen

1 Literatuur

- [1] Wet op de Waterkering
<http://wetten.overheid.nl/>. (zie ook Appendix A bij dit voorschrift)
- [2] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's-Gravenhage, september 1985
- [3] Leidraad bij bodemonderzoek in en nabij waterkeringen
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's-Gravenhage, mei 1988
- [4] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's-Gravenhage, september 1989
- [5] Pijpleidingcode, revisie 7
Studiegroep Pijpleidingen voor gassen en vloeistoffen, Provincie Zuid-Holland,
's-Gravenhage, 1990
- [6] Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juni 1993
- [7] Handreiking Constructief Ontwerpen + bijlagen
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, april 1994
- [8] Leidraad Zandige Kust + Basisrapport
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, januari 1995
- [9] Toetsing aansluitingsconstructies
WL / Delft Hydraulics, kenmerk H2178, Delft, november 1995
- [10] Technisch Rapport Klei voor Dijken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 1996
- [11] Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, maart 1999
- [12] Toetsingsparameters dijkgrasland. Indicatorsoorten dijkgraslandtypes en worteldichtheidsbepaling (handmethode)
DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Wageningen, maart 1999
- [13] Leidraad Zee- en Meerdijken + basisrapport
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, december 1999
- [14] Waterbeweging in de golfoploop/-overslagzone bij dijken in relatie tot de erosiebestendigheid van grasmatten - Notitie bij de Leidraad Toetsen op Veiligheid 1999
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, december 1999

- [15] Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen
Stowa 2000-06, Eerste versie, Utrecht, februari 2001
- [16] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-3776-0, kenmerk P-DWW-2001-035, Delft, juni 2001
- [17] Achtergrondrapport toetsmethode pijpleidingen
Studiegroep Pijpleidingen, 2002
- [18] Beoordeling binnenwaartse stabiliteit op basis van zoneringsmethode
GeoDelft, Delft, 2002
- [19] Invloed van een berm op de stroomsnelheden op het bovenbeloop
WL / Delft Hydraulics, Delft, januari 2002
- [20] Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 2002
- [21] Toetsmethode voor havendammen
WL / Delft Hydraulics, kenmerk H4048, Delft, juli 2002
- [22] Memo Toetsing grasbekledingen - zandgehalten
P.J.M. Wondergem, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, juli 2002
- [23] Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied; een gedetailleerde methode voor het bepalen van golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, kenmerk RIKZ/2002.034, Den Haag, september 2002
- [24] Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5519-X, kenmerk DWW-2002-121, Delft, november 2002
- [25] Leidraad Zandige Kust
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5541-6, kenmerk DWW-2003-046, Den Haag, december 2002
- [26] Leidraad Kunstwerken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5544-0, kenmerk DWW-2003-059, Delft, mei 2003
- [27] Technisch Rapport Steenzettingen
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5551-3, kenmerk DWW-2003-097, Delft, december 2003
- [28] De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 - 2006 (VTV)
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 90-369-5558-0, Den Haag, januari 2004.
- [29] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5565-3, kenmerk DWW-2004-057, Delft, september 2004

- [30] Studie beoordelingsaspecten bestaande leidingen in of nabij Maaskaden
Tebodin B.V., Hengelo, oktober 2004
- [31] Veiligheidsbeoordeling van Asfalt Dijkbekledingen - achtergrondrapport bij het toetsen van asfaltdijkbekledingen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV)
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 2004
- [32] Technisch Rapport Kistdammen en Diepwanden in Waterkeringen
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-369-5569-6, kenmerk DWW-2004-074, Delft, november 2004
- [33] Provinciaal Omgevingsplan Limburg (POL): partiële herziening POL-aanvulling Zandmaas
Gedeputeerde Staten van de provincie Limburg, Maastricht, **november 2004**
- [34] Eisen voor klei voor de Maaskaden
Rijkswaterstaat Dienst Weg en Waterbouwkunde, kenmerk AK-B020-2004, Delft, december 2004
- [35] Standaard RAW Bepalingen
C.R.O.W., Ede, 2005
- [36] Damwandconstructies. 4^e druk
Civieltechnisch Centrum Uitvoering en Reggeving (CUR), publicatie 166, ISBN 90-376-0063-8 (dl. 1), 90-376-0073-5 (dl. 2), Gouda, oktober 2005
- [37] NPR 3659, Ondergrondse pijpleidingen - Grondslagen voor sterkteberekening (inclusief aanvulling A1 en correctie C1)
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, januari 2006
- [38] Stabiliteit van gezette steenbekledingen op havendammen. Afleiding van verbeterde toetsmethode van de toplaag
WL / Delft Hydraulics, kenmerk H4432, Delft, februari 2006
- [39] NEN 3650, Eisen voor buisleidingsystemen, inclusief aanvullingen en correcties
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, augustus 2006
- [40] NEN 3651, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken, inclusief aanvulling A!
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, augustus 2006
- [41] Werkbeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een bekleding van waterbouwasfaltbeton
KOAC-NPC, Utrecht, augustus 2006
- [42] Primaire waterkeringen getoetst. Landelijke Rapportage Toetsing 2006
Inspectie verkeer en Waterstaat, Lelystad, september 2006
- [43] NEN 6740, Geotechniek - TGB 1990 - Basiseisen en belastingen
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, september 2006
- [44] Voorschrift Toetsen Maaskaden. Aanvulling op het VTV voor toetsing op veiligheid van dijkkringgebied 54 - 95
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Concept 2c, Delft, maart 2007

- [45] Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006 - 2011 (HR2006)
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 978-90-369-5761-8, Den Haag augustus 2007

- [46] Draaiboek Toetsen Primaire Waterkeringen voor d derde toetsronde
Dirctoraat-Generaal Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag augustus 2007

- [47] Achtergrondrapport niet-waterkerende objecten VTV 2007
**Eenvoudige toetsmethode op basis van beoordelingsprofiel
GeoDelft/Provincie Zuid-Holland, Delft/Den Haag augustus 2007**

- [48] Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken
Expertise Netwerk Waterveiligheid, Delft, september 2007

- [49] Technisch Rapport Duinafslag
Expertise Netwerk Waterveiligheid, Delft, september 2007

2 Rekenmodellen

2.1 Hydraulische randvoorwaarden en belastingen

HYDRA-B	<p>Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de kruinhoogte en de bekleding van primaire waterkeringen in het benedenrivierengebied</p> <p>Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007. Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.</p>
HYDRA-K	<p>Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de bekleding van primaire waterkeringen langs de Hollandse Kust en estuaria.</p> <p>Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007. Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.</p>
HYDRA-M	<p>Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de kruinhoogte van primaire waterkeringen langs het IJsselmeer en het Markermeer</p> <p>Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007. Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.</p>
HYDRA-Q	<p>Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de bekleding van primaire waterkeringen langs het IJsselmeer en het Markermeer</p> <p>Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007. Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.</p>
HYDRA-R	<p>Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de kruinhoogte en de bekleding van primaire waterkeringen in het bovenrivierengebied</p> <p>Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007. Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.</p>

HYDRA-VIJ Rekenmodel voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden (2006-2011) voor het toetsen van de kruinhoogte van primaire waterkeringen in de Vechtdelta. Onderdeel van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2006) [45]
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007.
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

PC-OVERSLAG Rekenmodel voor de bepaling van de golfploop en golfoverslag bij dijken. Bijlage bij het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken [20]
Rijkswaterstaat.
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

2.2 Dijken en dammen

MSTAB Berekent de stabiliteitsfactor van een talud bij een opgelegd glijvlak volgens de methodes Fellenius en Bishop (cirkelvormig glijvlak), Spencer (niet-cirkelvormig glijvlak) en Van (opdrijven, drukstaafmodel).
GeoDelft, Delft.
Voor meer informatie: www.delftgeosystems.nl.

PLAXIS Een eindig-elementenmodel dat de vervormingen in de tijd en stabiliteitsfactor van een grondlichaam berekent met medeneming van ontwikkelingen van de waterspanningen.
Plaxis B.V.
Voor meer informatie: www.plaxis.nl.

2.3 Duinen

DUROS+ DUineROSie-model. Berekent de duinafslag van een onverdedigd duinprofiel, waarbij wordt uitgegaan van een sluitende zandbalans in dwarsrichting. Opgevolgd door WINKUST 2004, vanaf versie 1.5
WL / Delft Hydraulics, Delft

WINKUST 2004 vanaf versie 1.5 als DUROS+, met gebruikersinterface in Windows-omgeving
Koster Engineering Heenstede
Voor meer informatie: www.winkust.nl.

2.4 Bekledingen

2.4.1 Steenzettingen

ANAMOS ANALytisch Model voor het Ontwerp van Steenzettingen.
Rijkswaterstaat, DWW
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

STEENTOETS Rekenmodel voor de toetsing van steenzettingen.
Rijkswaterstaat, DWW.
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

2.4.2 Asfaltbekledingen

GOLFKLAP Rekenmodel voor de dimensionering van asfaltbekledingen op belasting door golfklappen.
Rijkswaterstaat, DWW.
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

2.4.3 Grasbekledingen

GRASTOETS Rekenmodel voor de toetsing van grasbekledingen.
Rijkswaterstaat, DWW.
Voor meer informatie: www.helpdeskwater.nl.

Katern 12

Begrippen, afkortingene en symbolene

1 Begrippen

<i>Aanleghoogte</i>	Kruinhoogte van de waterkering onmiddellijk na het gereedkomen ervan.
<i>Aansluitingsconstructie</i>	Gehele dwars- en lengteprofiel van een grondconstructie in zijn afwijkende vorm, bij de overgang naar een duin, hoge gronden of een kunstwerk.
<i>Achterland</i>	Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering.
<i>Achterloopsheid</i>	Lekstroom achter een constructie om.
<i>Actuele sterkte</i>	Huidige werkelijke sterkte.
<i>Afschuiving</i>	Verplaatsen van een deel van een grondlichaam door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.
<i>Afslaglijn</i>	Lijn in lengterichting van de kust die de afslagpunten verbindt.
<i>Afslagprofiel</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Evenwichtsprofiel van een duin tijdens de maatgevende storm.2. Resterende profiel van een hoog voorland, inclusief dijk, na aanzienlijke buitendijkse erosie.
<i>Afslagpunt</i>	Snijpunt van het afgeslagen duinfront met het Rekenpeil. Het kritieke afslagpunt geeft die mate van duinafslag aan waarbij nog juist geen doorbreken optreedt.
<i>Aquifer</i>	Watervoerende zandlaag.
<i>Artesisch water</i>	(Grond)water met een wateroverspanning ten opzichte van een hydrostatische waterspanningsverdeling, waarbij de wateroverspanning het gevolg is van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.
<i>Astronomisch getij</i>	Getijbeweging als gevolg van de veranderlijke resultante van de aantrekkingskracht van de maan en de zon op de watermassa's op aarde, niet gestoord door weerkundige omstandigheden.
<i>Bandijk</i>	Rivierdijk die het winterbed omsluit.
<i>Basiskustlijn</i>	Kustlijn die in het kader van de kustlijn­zorg zal worden gehandhaafd. In het algemeen de positie van de gemiddelde kustlijn op 1 januari 1990.
<i>Basispeil</i>	Extreme hoogwaterstand met (per definitie) een overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar.
<i>Beheer</i>	Geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.
<i>Beheerder</i>	Overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is.

<i>Beheersgebied</i>	In de legger gespecificeerd areaal, dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.
<i>Beheersregister</i>	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.
<i>Bekleding</i>	Zie 'taludbekleding'.
<i>Belasting</i>	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.
<i>Belastinggevallen-methode</i>	Methode voor het vaststellen van de dijktafelhoogte uit de bepalende belastingscombinaties: waterstand Hoek van Holland, rivierafvoer en windsnelheid, zoals beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied [4].
<i>Benedenrivierengebied</i>	Door Rijn en Maas gevoede rivierengebied, waarbij tijdens grote afvoergolven de waterstanden een significante invloed ondervinden van de waterstand op de Noordzee als gevolg van een zware storm. De getijhoogwaterstijging is hier van belang.
<i>Beoordelingsprofiel</i>	Denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen dat binnen het werkelijk aanwezige profiel van een dijk moet passen. Dit profiel wordt gebruikt ten behoeve van het beoordelen van de veiligheid van bestaande dijken op de aanwezigheid van niet-waterkerende objecten. Het mag in het algemeen niet worden doorsneden door verstoringszones van niet-waterkerende objecten.
<i>Beschermingszone</i>	In de legger aangegeven beheerszone ter weerszijde van de waterkering.
<i>Betrekkinglijn</i>	Lijn die weergeeft welke waterstanden met gelijke overschrijdingsfrequentie aan twee peilstations met elkaar overeenkomen.
<i>Bezwijken</i>	Optreden van verlies van inwendig evenwicht (bv. afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bv. verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen.
<i>Bezwijkmechanisme</i>	Wijze waarop een constructie bezwijkt (bv. afschuiven, piping, verweken).
<i>Bijzondere waterkerende constructie</i>	Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuuren, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen.
<i>Binnenberm</i>	Extra verbreding aan de binnendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om zandmeevoerende wellen te voorkomen.
<i>Binnendijks</i>	Aan de kant van het land of het binnenwater.

<i>Binnentalud</i>	Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
<i>Binnenteen</i>	Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
<i>Bochtwerking</i>	Waterstandsverhoging ter plaatse van de waterkering als gevolg van scheefstand van het wateroppervlak in een bocht van een rivier.
<i>Bovenrivierengebied</i>	Door Rijn en Maas gevoede rivierengebied (inclusief de IJssel), waarbij de waterstanden geen significante invloed ondervinden van de waterstand op de Noordzee en het IJsselmeer als gevolg van een zware storm. De getijhoogwaterstijging speelt hier geen rol.
<i>Bres</i>	Gat in de waterkering.
<i>Bui-oscillaties</i>	Onregelmatige schommelingen van het wateroppervlak met een wisselende periode die vooral bij zware storm optreden.
<i>Buistoot</i>	Afzonderlijk optredende vrij kort durende waterspiegelverheffing als gevolg van een zware bui.
<i>Buitenberm</i>	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren.
<i>Buitendijks</i>	Aan de kant van het te keren (buiten)water.
<i>Buitenkruinlijn</i>	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud, waarlangs de toetsing op hoogte plaatsvindt.
<i>Buitentalud</i>	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
<i>Buitenteen</i>	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
<i>Buitenwater</i>	Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van de waterstand op zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer.
<i>Coupure</i>	Onderbreking in de waterkering voor de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge buitenwaterstanden afsluitbaar is.
<i>Decimeringshoogte</i>	Absolute verschil in hoogte tussen het Toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die een factor 10 hoger of lager is dan die van het Toetspeil.
<i>Deining</i>	Windgeïnduceerde watergolven, die niet meer onder invloed zijn van het windveld dat hen opwekte.
<i>Delta</i>	Mondingsgebied van rivieren, gekenmerkt door splitsende zijarmen.
<i>Deltahoogte</i>	Hoogte van een waterkering, die voldoet aan de veiligheidsnorm volgens de Deltawet.
<i>Deltaveiligheid</i>	Veiligheidsnorm tegen overstroming, zoals vastgelegd in de Deltawet.

<i>Diffractie</i>	Buiging van golffront/golfstraal in het schaduwgebied van een obstakel.
<i>Dijk</i>	Waterkerend grondlichaam.
<i>Dijkringgebied</i>	Gebied dat door een stelsel van waterkeringen of hoge gronden moet zijn beveiligd tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoge waterstand op een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
<i>Dijkringgebied-scheiding</i>	Zie 'scheidingsdijk'.
<i>Dijksectie of dijkvak</i>	Deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting.
<i>Dijktafelhoogte</i>	Minimaal vereiste kruinhoogte, zoals aangegeven in de legger.
<i>Drukstaafmethode</i>	Methode om de stabiliteit van de dijk te benaderen onder inachtneming van de vervorming van het slappe grondpakket achter de dijk, dat hiertoe als een door druk belaste staaf wordt opgevat (opdrijven).
<i>Duin</i>	Min of meer aansluitende zandheuvelds langs de kust, al dan niet door de natuur gevormd, die het waterkerend vermogen ontleent aan de geometrie en de hoeveelheid zand binnen het dwarsprofiel.
<i>Duinvoet</i>	Overgang van strand naar duin. De positie van de duinvoet in een dwarsprofiel wordt door veel beheerders gedefinieerd met behulp van een in de tijd constante hoogtelijn (bijvoorbeeld NAP +3 m).
<i>Estuarium</i>	Wijde trechtvormige riviermond, waarin het getij zich sterk doet gevoelen.
<i>Evenstandslijn</i>	Lijn die weergeeft hoe plaatselijk een bepaalde waterstand kan ontstaan onder invloed van combinaties van de rivierafvoer en de hoogwaterstand te Hoek van Holland.
<i>Evenwichtsprofiel</i>	Kustprofiel behorend bij gegeven constante hydraulische omstandigheden.
<i>Filter</i>	Tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.
<i>Freatisch vlak</i>	Vrije grondwaterspiegel.
<i>Frequentielijn</i>	Zie 'werklijn'.
<i>Getijhoogwaterstijging</i>	De relatieve stijging van de gemiddelde hoogwaterstand (inclusief NAP-daling).
<i>Gevoeligheidsfactor</i>	Zie 'modelfactor'.
<i>Golfhoogte</i>	De verticale afstand tussen dal en top van een golf.
<i>Golfoploop</i>	Het regen het talud oplopen van golven.

<i>Golfoploophoogte</i>	Dit is het golfoploophoogte, verticaal gemeten ten opzichte van de lokale waterstand, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven. Het aantal overschrijdingen wordt hierbij gerelateerd aan het aantal inkomende golven en dus niet aan het aantal oplopen. Het golfoploophoogte van een individuele oploop wordt bepaald door het niveau waarbij de watertong minder dan 2 cm dik wordt.
<i>Golfoverslag</i>	Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
<i>Golfoverslaghoogte</i>	De hoogte ten opzichte van de waterstand, waarbij een bepaald opgegeven debiet optreedt. Iets preciezer gezegd is de golfoverslaghoogte het verschil tussen het niveau van de buitenkruinlijn en de lokale waterstand in de situatie dat de buitenkruinlijn zó hoog ligt dat de overslag daarover precies gelijk is aan het opgegeven debiet.
<i>Golfperiode</i>	Tijdsduur tussen twee opeenvolgende neergaande passages van de middenstand van een golf.
<i>Golfspectrum</i>	Verdeling van de golfenergie-dichtheid als functie van de periode (bij een breed spectrum zijn de golfperiodes van de windgolven onderling sterk verschillend).
<i>Golfsteilheid</i>	Verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
<i>Grenslaag</i>	Onderste deel van het afdekkende pakket. Bij hoogwater wordt de waterspanning in de grenslaag beïnvloed door de stijghoogte in de onderliggende aquifer.
<i>Grenspotentiaal</i>	Stijghoogte in de aquifer die in evenwicht is met het gewicht van het afdekkende pakket.
<i>Grensprofiel</i>	Profiel dat na duinafslag tijdens maatgevende omstandigheden nog minimaal als waterkering aanwezig moet zijn.
<i>Grenstoestand</i>	Toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
<i>Grondbreuk</i>	Zie 'hydraulische grondbreuk'.
<i>Havenslingering</i>	Resonantieverschijnsel in bekkens (o.a. havens) als gevolg van laagfrequente variaties van de buitenwaterstand (seiche).
<i>Heave</i>	Situatie waarbij verticale korrelspanningen in een zandlaag wegvallen onder invloed van een verticale grondwaterstroming; ook fluidisatie of de vorming van drijfzand genoemd.
<i>Hoge gronden</i>	Hoge gronden zijn natuurlijke hoge delen van Nederland die niet overstroomd bij maatgevend hoogwater én die als zodanig zijn aangegeven op bijlagen I en IA van de Wet op de waterkering. Hoge gronden vormen samen met primaire waterkeringen het stelsel dat een dijkringgebied omsluit.
<i>Hydraulische belasting</i>	Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.

<i>Hydraulische groundbreuk</i>	Verlies van korrelcontact in de grond als gevolg van te hoge wateroverspanningen; in geval van een cohesieve afdekkende grondlaag leidt dit tot opdrijven en opbarsten, in geval van een niet-cohesieve grondlaag tot heave.
<i>Hydrostatische waterspanning</i>	(Grond)waterspanning in een punt in de (onder)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.
<i>Infiltratie</i>	Indringen van water in de bodem of het grondlichaam van bovenaf.
<i>Inscharingslengte</i>	De lengte gerekend vanaf de geulrand waarover het voorland wordt aangetast (afschuiven of vloeien) in het geval van een afschuiving of zettingsvloeiing.
<i>Intreepunt</i>	(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.
<i>Invloedsgebied</i>	Gebied waarbinnen het bezwijken of falen van een waterkerend kunstwerk, bijzondere constructie of niet-waterkerend object merkbaar is. Denk hierbij aan de ontgrondingskuil rond een bezweken leiding of een ontwortelde boom.
<i>Invloedslijn</i>	Begrenzing van de invloedszone.
<i>Invloedsstrook</i>	Strook, direct landwaarts van de reserveringsstrook, waar aan gebruiksfuncties beperkingen worden gesteld teneinde de waterkering in stand te houden.
<i>Invloedszone</i>	Tot de waterkering behorende gronden, die daadwerkelijk bijdragen aan het waarborgen van de stabiliteit, zowel aan de binnen als aan de buitenzijde van de waterkering.
<i>Kade</i>	Een kleine dijk.
<i>Kadesectie of kadevak</i>	Zie 'dijksectie'.
<i>Karakteristieke belasting</i>	Belasting met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
<i>Karakteristieke sterkte</i>	Sterkte met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
<i>Karakteristieke waarde</i>	Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
<i>Kernzone</i>	Waterkering plus het gebied dat zich uitstrekt tot waar bezwijkmechanismen van de waterkering reiken. Denk hierbij aan het uittreepunt in het maaiveld van een glijcirkel.
<i>Keur</i>	Verordening van het waterschap, waarin gebods- en verbodsbepalingen zijn opgenomen en waarvan de naleving door sancties kan worden afgedwongen.
<i>Keurgebied</i>	Gebied waarop de keur van toepassing is.

Keurzone	Zie 'keurgebied'.
Kopsloot	(Polder)sloot die dwars op de dijk of kade is gesitueerd.
Kreukelberm	Zie 'teenbestorting'.
Kritiek grensprofiel	Meest landwaarts gelegen grensprofiel.
Kritiek verval	Waarde van het verval, c.q. de lengte van de maatgevende kwelweg, waarbij juist geen piping of heave optreedt.
Kritieke dichtheid	Grenswaarde van de dichtheid van zand tussen losse- en vaste pakking.
Kruin	<ol style="list-style-type: none">1. Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn;2. Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam;3. Buitenkruinlijn.
Kruinhoogte	Hoogte van de waterkering.
Kruinhoogtemarge	Het verschil tussen de kruinhoogte op de peildatum en Toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, seiches of slingeringen.
Kruip	Als functie van de tijd doorgaande verticale vervorming van grondlagen, bij gelijkblijvende korrelspanning.
Kustlijn	Gemiddelde laagwaterlijn. Deze is aangegeven op de door de minister van Verkeer en Waterstaat vastgestelde peilkaart die telkens na vijf jaren wordt herzien. De verkrijgbaarstelling wordt bekendgemaakt in de Staatscourant.
Kwel	Uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied.
Kwelkade	In het direct aan de dijk grenzende achterland aangebrachte kade om afstromen van kwelwater te verminderen waarmee wordt getracht het optreden van pipingverschijnselen te voorkomen alsmede wateroverlast binnendijks tijdens hoge rivierafvoeren te beperken.
Kwelscherm	Ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg.
Kwelsloot	Sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.
Kwelweg	Mogelijk pad in de grond dat het kwelwater aflegt, van het intreepunt naar het uittreepunt.
Kwelweglengte	Lengte van de kwelweg.
Legger	Document, waarin de beschrijving is opgenomen van de minimale eisen waaraan de (primaire) waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingsen worden aangegeven.
Lokale opstuwing	lokale waterstandsverhoging ter plaatse van de waterkering als gevolg van obstakels in het rivierbed.
Lokale opwaaiing	Opwaaiing tussen de locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarde wordt gegeven en de waterkering.
Maaskade	Primaire waterkering die deel uitmaakt van het stelsel dat een van de dijkkringgebieden 54-95 omsluit en beschermt tegen een hoge waterstand op de Limburgse Maas.

Macrostabiteit	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
Materiaalfactoren	Partiële factoren, die op de karakteristieke materiaalparameters worden toegepast om onzekerheden in de grondeigenschappen te verdisconteren.
Meerdijk	Primaire waterkering, gelegen langs in het algemeen grote wateren, anders dan rivieren, zonder getijdewerking.
Microstabiteit	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittreidend water.
Modelfactor	Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd.
Momentane ligging van de kustlijn	Gemiddelde positie van het strand en een deel van de ondiepe vooroever in een bepaald jaar, conform de rekenmethode van de nota 'De Basiskustlijn'.
Morfologie	Leer en beschrijving van de bodemligging van zee, zee-armen, meren en rivieren.
NAP-daling	Daling van het NAP-vlak als gevolg van onderlinge bewegingen in de aardkorst. Wegens het ontbreken van een meetbaar referentiepunt kan deze daling niet zelfstandig, maar alleen in combinatie met de getijhoogwaterstijging worden gekwantificeerd.
Niet-primaire (water)kering	Zie 'regionale (water)kering'.
Niet-waterkerend object	Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals leidingen, woningen en bomen.
Normaal onderhoud	Vast en variabel onderhoud dat tijdig wordt uitgevoerd door de beheerder, waardoor het kwaliteitsniveau van de onderdelen van de kering boven het vastgestelde minimum blijft.
Normfrequentie	Gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste waterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, zoals bedoeld in het eerste lid van Artikel 3 van de Wet op de waterkering en zoals per dijkkringgebied weergegeven in Bijlage II en IIA bij de Wet op de waterkering.
Onderloopsheid	Lekstroom onder een constructie door.
Ontgroning	Erosie van de waterbodem als gevolg van stroming en golfbeweging.
Ontwerpafslagzone	Gedeelte van het duingebied dat tijdens ontwerpomstandigheden (ontwerpstormvloed) zal afslaan.
Ontwerpkwaliteit	Het voldoen aan ontwerpcriteria bij gebruik van vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Ontwerpkwaliteit bij toetsen: de waterkering voldoet aan ontwerpcriteria met gebruikmaking van toetsuitgangspunten en toetsrandvoorwaarden.
Ontwerplevensduur	Zie 'planperiode'.

<i>Ontwerppeil</i>	Een waterstand met een bepaalde kans van overschrijden vermeerderd met de verwachte waterstandsstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de ontwerplevensduur (planperiode).
<i>Ontwerpwaarde</i>	In het ontwerp te hanteren waarde van een belastings- of sterkteparameter (rekenwaarde).
<i>Opbarsten</i>	Bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
<i>Opdrijfzone</i>	Zone achter de dijk waar de grenspotential wordt bereikt bij maatgevende omstandigheden.
<i>Opdrijven</i>	Opdrukken van het afdekkend pakket door het bereiken van de grenspotential.
<i>Opdrukveiligheid</i>	Verhouding tussen het gewicht van het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen (klei/veen) en de opwaartse waterdruk direct er onder, uitgedrukt in de parameter ' <i>n</i> '.
<i>Open keerhoogte</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare afsluitmiddelen bij open afsluitmiddel; 2. De kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen) watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater.
<i>Open keerpeil</i>	Buitenwaterstand welke bij open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt.
<i>Opperwater</i>	Zie 'buitenwater'
<i>Overbelasting</i>	Overschrijden van het vastgestelde overslagcriterium.
<i>Overhoogte</i>	Extra hoeveelheid grond die wordt aangebracht met het doel om na zetting van de ondergrond en klink van de aangebrachte grond het gewenste profiel te bereiken.
<i>Overlopen</i>	Verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland inloopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de kruin.
<i>Overschrijdingsfrequentie</i>	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
<i>Partiële factor</i>	Factor waarmee een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) wordt ter verkrijging van de rekenwaarde. De partiële factoren dienen om onzekerheden in belastingen, materiaaleigenschappen, rekenmethodes, gevolgen van falen en de overschrijdingskansen van grenstoestanden in rekening te brengen.
<i>Peildatum</i>	Datum, vastgesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat, waarop de toetsing van de primaire waterkering betrekking heeft. De (verwachte) toestand op de peildatum wordt getoetst.
<i>Piping</i>	Verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.

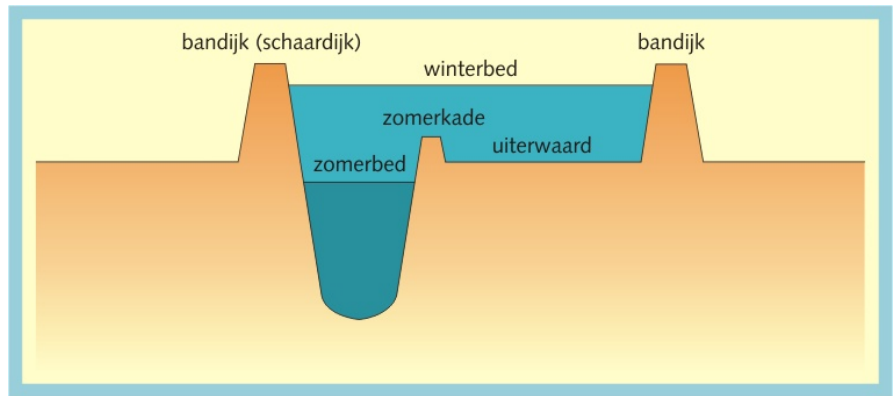
<i>Planperiode</i>	Periode waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering (voor dijken meestal 50 jaar; voor kunstwerken meestal 100 of 200 jaar).
<i>Plasberm</i>	Zie 'teenbestorting'.
<i>Polder</i>	Op de boezem uitslaand of lozend gebied met geregelde waterstand.
<i>Polderpeil</i>	Peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
<i>Potentiaal</i>	Stijghoogte in een aquifer.
<i>Primaire waterkering</i>	Waterkering, zoals aangegeven op Bijlage I bij de Wet op de waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen.
<i>Primaire zetting</i>	Verticale vervorming van grondlagen tijdens de hydrodynamische periode, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting.
<i>Proevenverzameling</i>	Verzameling/steekproef van in het terrein gemeten of in het laboratorium bepaalde waarden van grondeigenschappen, ingedeeld naar geologische/geotechnische formatie.
<i>Profiel van vrije ruimte</i>	Vrij te houden ruimte voor het blijvend kunnen realiseren van de waterkerende functie van een kering, ook in de toekomst.
<i>Randvoorwaarde-locatie</i>	Locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarden worden gegeven.
<i>Refractie</i>	Zwenking van golfkammen onder invloed van veranderende bodemdiepte of van stroomgradiënten.
<i>Regionale (water)kering</i>	Niet-primaire waterkering. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
<i>Rekenpeil</i>	Toetspeil voor duinen vermeerderd met het tweede deel van de decimeringshoogte.
<i>Representatieve waarde</i>	Waarde die de werkelijke waarde van een parameter met voldoende zekerheid representeert. In veel gevallen wordt de karakteristieke waarde gebruikt als representatieve waarde.
<i>Reserveringsstrook</i>	Strook (duin), direct landwaarts van het grensprofiel, deel uitmakend van de primaire waterkering, onder meer ten behoeve van de opvang van de effecten van de verwachte getijhoogwaterstijging over een periode van 200 jaar.
<i>Reservestrook</i>	Zie 'Reserveringsstrook'.
<i>Rijksstrandpalenlijn</i>	Langs de gehele kust gelegen referentielijn voor meetraaien (hoofdraai).
<i>Risicoanalyse</i>	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.

<i>Rivierdijk</i>	Dijk langs een rivier.
<i>Schaardijk</i>	Rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.
<i>Schadefactor</i>	Partiële factor waarin de gevolgen van bezwijken zijn betrokken.
<i>Scheidingsdijk</i>	Primaire waterkering, die niet bestemd is tot directe kering van het buitenwater en niet langs oppervlakte water is gelegen, maar deel uitmaakt van een dijkkringgebied als gemeenschappelijke scheiding tussen twee aangrenzende dijkkringgebieden.
<i>Seculaire zetting</i>	Zie 'secundaire zetting'.
<i>Secundaire zetting</i>	Verticale vervorming van grondlagen na de hydrodynamische periode. Ook wel 'seculaire zetting' genoemd.
<i>Seiche</i>	Zie 'havenslingering'.
<i>Signaleringspeil</i>	Verwachte of geconstateerde waterstand, waarbij beheerders worden gewaarschuwd en inlichtingen wordt verschaft, opdat tijdig maatregelen kunnen worden genomen.
<i>Significante golfhoogte</i>	Gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van de golven.
<i>Sluitpeil</i>	Waterstand waarbij de kering wordt gesloten.
<i>Spectrum</i>	Zie 'golfspectrum'.
<i>Squeezing</i>	Plotseling optredende grote horizontale, van de as van de grondconstructie af gerichte verplaatsingen in de ondergrond onder de grondconstructie.
<i>Stabiliteitsfactor</i>	Factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt.
<i>Stijghoogte</i>	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.
<i>Stormopzet</i>	Zie 'windopzet'.
<i>Stormvloed</i>	Hoogwaterperiode waarbij te Hoek van Holland het grenspeil (met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 0,5 per jaar) wordt bereikt of overschreden (voor het grenspeil: zie getijtafels opgesteld door RIKZ: www.getij.nl).
<i>Strijklengte</i>	Lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
<i>Superstorm</i>	Storm die de maatgevende omstandigheden langs de kust tot gevolg heeft.
<i>Talud</i>	Gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.
<i>Taludbekleding</i>	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.

<i>Te toetsen kustlijn</i>	Gemiddelde ligging van de kustlijn in een willekeurig jaar na 1990. Het verschil in de posities van de TKL en de BKL is maatgevend in het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven.
<i>Teenbestorting</i>	Horizontaal gedeelte van een dijk, aan de buitenzijde gelegen, als overgang tussen de harde bekleding en de rest van het talud of de vooroever. Ook wel 'kreukelberm' (Zeeland) of 'plasberm' genoemd.
<i>Toetspeil</i>	Waterstand, die wordt gebruikt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen, met een overschrijdingsfrequentie conform Bijlage II en IIA bij de Wet. In het Toetspeil is de verwachte waterstandsstijging (inclusief NAP-daling) tot en met de peildatum verwerkt. De Toetspeilen voor rivieren zijn gegeven op de as van de rivier; voor meren op enige afstand uit de teen van de waterkering (meestal 200 m), voor duinen op de NAP - 20 m dieptelijn en voor de overige waterkeringen langs de kust en estuaria meestal nabij de teen van de waterkering.
<i>Uiterwaard</i>	Zie 'winterbed'.
<i>Uittreepunt</i>	Locatie aan de landzijde waar kwelwater het eerst aan het oppervlak treedt.
<i>Uittreeverhang</i>	Verhang in het grondwater ter plaatse van het uittreepunt.
<i>Veiligheidsnorm</i>	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.
<i>Veiligheidstoeslag</i>	Toeslag op de in rekening te brengen hydraulische belasting bij kunstwerken om de onzekerheid in de bepaling van de hydraulische belasting te compenseren.
<i>Veiligheidszone</i>	Tot de waterkering behorende gronden, die daadwerkelijk bijdragen aan het waarborgen van de stabiliteit, zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde van de waterkering.
<i>Verhang</i>	Verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
<i>Verstoringszone</i>	Zone om een niet-waterkerend object, waarbinnen de invloed van de aanwezigheid, bezwijken of falen van het niet-waterkerende object in de grond merkbaar is.
<i>Verval</i>	Verskil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.
<i>Verweking</i>	Verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).

<i>Voorland</i>	Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaarlijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven Toetspeil.
<i>Vooroever</i>	Waterbodem in de zone vlak voor de teen van een dijk.
<i>Waterkerend kunstwerk</i>	Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere functie, die de waterkering kruist (bv. schutten, spuien).
<i>Waterkering</i>	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
<i>Waterkeringszone</i>	Zie 'keurgebied'.
<i>Waterover/onderspanning</i>	Verskil tussen de aanwezige waterspanning en de hydrostatische waterspanning.
<i>Waterspanning</i>	Druk in het grondwater.
<i>Waterstandsnorm</i>	Zie 'veiligheidsnorm'.
<i>Wel</i>	Geconcentreerde uitstroming van kwelwater.
<i>Werklijn</i>	Relatie tussen het jaarmaximum van de afvoer en de overschrijdingskans daarvan per jaar.
<i>Windgolven</i>	Golven, ontstaan door de wrijving van de lucht over het water.
<i>Windopzet</i>	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
<i>Winterbed</i>	Deel van de rivierbedding tussen zomerbed en banddijk.
<i>Zandmeevoerende wel</i>	Wel die zand meevoert uit de ondergrond.
<i>Zeedijk</i>	Primaire waterkering van de categorie a, die zout water keert.
<i>Zeespiegelstijging</i>	De stijging van de gemiddelde zeestand ten opzichte van NAP.
<i>Zetting</i>	Verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.
<i>Zettingsvloeiing</i>	Verschuiven van een verzadigde zandmassa zich gedraagt als een vloeistof als gevolg van het wegvallen van de korrelspanning.
<i>Zomerbed</i>	Deel van de rivier waar bij normale en lagere waterstanden de rivierafvoer plaatsvindt.
<i>Zomerdijk</i>	Zie 'zomerkade'.
<i>Zomerkade</i>	Begrenzing van zomer- en winterbed van de rivier.

Figuur 12 - 1.1
Dwarsprofiel van een rivier



2 Afkortingen

ABO	Beoordelingsspoor Bezijken van de onderlaag voor asfalt
AES	Beoordelingsspoor Ernstige Schade voor asfalt
AF	Beoordelingsspoor Afschuiving voorland
AGK	Beoordelingsspoor Golfklap voor asfalt
AMT	Beoordelingsspoor Materiaaltransport voor asfalt
AWO	Beoordelingsspoor Wateroverdruk voor asfalt
BGT	Bruikbaarheids GrensToestand
BKL	Basiskustlijn
BPW	Beheersplan Waterkeringen
BS	Beoordelingsspoor Betrouwbaarheid sluiting
Cmer	Commissie m.e.r.
DA	Beoordelingsspoor Duinafslag
DVV	Duinvoetverdediging
GAF	Beoordelingsspoor Afschuiving voor gras
GEKL	Beoordelingsspoor Erosie door golfklap voor gras
GEO	Beoordelingsspoor Erosie van de onderlagen voor gras
GEOP	Beoordelingsspoor Erosie door golfloop voor gras
GEOV	Beoordelingsspoor Erosie door golfoverslag voor gras
GHW	Gemiddeld hoogwater
GLW	Gemiddeld laagwater
GRW	Gemiddelde rivierwaterstand
HAL	Beoordelingsspoor Achterloopsheid bij hoge gronden
HAP	Beoordelingsspoor Aansluiting op de primaire waterkering bij hoge gronden
HCO	Handreiking Constructief ontwerpen [7]
HR	Hydraulische Randvoorwaarden
HR2001	Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen
HR2006	Hydraulische Randvoorwaarden voor het toetsen van primaire waterkeringen [45]
HT	Beoordelingsspoor Hoogte
HTL	Beoordelingsspoor Overloop voor Maaskaden
HTG	Beoordelingsspoor Golfoverslag voor Maaskaden
LKW	Leidraad Kunstwerken [26]

LOR1	Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenriviereengebied [2]
LOR2	Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenriviereengebied [4]
LRT	Landelijke Rapportage Toetsing (De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland) [20]
LZK	Leidraad Zandige Kust [25]
LZM	Leidraad Zee- en Meerdijken [13]
m.e.r.	milieu-effectrapportage
MER	Milieu-effectrapport
MGW	Maatgevende grondwaterstand
MHW	Maatgevend hoogwater
MKL	Momentane ligging van de kustlijn
MV	Maaiveld
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NWO	Niet-waterkerend object
NWO	Beoordelingsspoor niet-waterkerende objecten
r.s.p.-lijn	Rijksstrandpalenlijn
RSP	Rijksstrandpaal
SP	Streefpeil
ST	Beoordelingsspoor Stabiliteit
STBI	Beoordelingsspoor Macrostabiliteit binnenwaarts
STBK	Beoordelingsspoor Bekledingen
STBU	Beoordelingsspoor Macrostabiliteit buitenwaarts
STCG	Beoordelingsspoor Stabiliteit van constructie en grondlichaam
STCO	Beoordelingsspoor Sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen
STMI	Beoordelingsspoor Microstabiliteit
STPH	Beoordelingsspoor Piping en heave
STVL	Beoordelingsspoor Voorland
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
TGB	Normenreeks TGB 1990
TKL	Te toetsen kustlijn
TR	Technisch Rapport
TRAS	Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [48]
TRAW	Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren [24]
TRGG	Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken [20]
TRS	Technisch Rapport Steenzettingen [27]
TRWG	Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [16]
TRWD	Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [29]

TRZW	Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [11]
UGT	Uiterste Grens Toestand
VTM2006	Voorschrift Toetsen Maaskaden 2006
VTV	Voorschrift Toetsen op Veiligheid
VTV2004	Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2004 [28]
VTV2006	Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 (dit voorschrift)
WE	Beoordelingsspoor Winderosie
wn	Wettelijke norm
WP	Winter(streef)peil
Wwk	Wet op de waterkering (zie Appendix A bij dit voorschrift) [1]
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 Bezijden van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie voor zetsteen
ZOI	Beoordelingsschema Invloed overgang op toplaaginstabiliteit voor zetsteen
ZP	Zomer(streef)peil
ZTG	Beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder golfaanval voor steenzettingen (Zetsteen)
ZTS	Beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder langstroming voor steenzettingen (Zetsteen)
ZV	Beoordelingsspoor Zettingsvloeiing voorland

3 Symbolen

A	Lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn	[m]
A_d	Tekort aan oppervlak beneden Rekenpeil	[m ²]
A_e	Erosie-oppervlak rond de waterlijn	[m ²]
A_L	Het volume lucht per m ¹ dam onder de asfaltbekleding	[m ²]
A_{ont}	Oppervlakte ontgrondingskuil in dwarsprofiel	[m ²]
A_{tot}	Het totale volume per m ¹ dam onder de asfaltbekleding, boven de lijn ter hoogte van h_d	[m ²]
A_v	Tekort aan oppervlak beneden Rekenpeil die hoort bij de aanwezige duinvoetverdediging	[m ²]
B	<ul style="list-style-type: none"> – Kruinbreedte – Diameter open plek in de begroeiing – Breedte van de gesloten teenbescherming, gerekend vanaf de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding 	<ul style="list-style-type: none"> [m] [m] [m]
B_{max}	Afstand tussen binnenkruinlijn grensprofiel en het midden van de open plek	[m]
C	<ul style="list-style-type: none"> – Hoogte freatische lijn ter plaatse van de buitenteen van de dijk – Afstand tussen de binnenkruinlijn van het grensprofiel en het snijpunt van het Rekenpeil met de landwaartse zijde van het landwaartse gesloten duin 	<ul style="list-style-type: none"> [m NAP] [m]
C_{slit}	Invloedsfactor voor ingeslibde granulaire laag	[-]
D	<ul style="list-style-type: none"> – Laagdikte van de toplaag – Hoogte freatische lijn ter plaatse van de binnenteen van de dijk – Hoogte freatische lijn ter plaatse van het binnentalud van de dijk – Laagdikte van de toplaag 	<ul style="list-style-type: none"> [m] [m NAP] [m NAP] [m]
D_1	Dikte samendrukbare laag	[m]
D_2	Dikte niet-samendrukbare laag	[m]
D_{bx}	Korrel diameter van granulair basismateriaal die door x% van het basismateriaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]
D_{fx}	Korrel diameter van granulair filtermateriaal die door x% van het filtermateriaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]
D_{nx}	Nominale diameter van granulair materiaal: de diameter van de denkbeeldige kubus met massa M_x en dichtheid ρ ($D_{nx} = (M_x/\rho)^{1/3}$)	[m]
D_x	Korrel diameter van granulair materiaal die door x% van het materiaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]

DTH	Dijktafelhoogte	[m NAP]
E	Hoogte freatische lijn ter plaatse van de binnenteen van de dijk	[m NAP]
E_{dyn}	Elasticiteitsmodulus	[N/m ²]
GHW	Gemiddeld HoogWater	[m NAP]
GLW	Gemiddeld LaagWater	[m NAP]
GRW	Gemiddelde Rivierwaterstand	[m NAP]
GWS	Gemiddelde WaterStand	[m NAP]
H	– Golfhoogte – Verschil actuele kruinhoogte en maaiveld voorland – Geuldiepte	[m] [m] [m]
H_1	Hoogteverschil tussen Gemiddelde Waterstand (GWS) en de actuele kruinhoogte	[m]
H_{beoord}	Beoordelingsniveau	[m NAP]
H_{lok}	Lokale taludhoogte	[m]
H_{m0}	Spectrale golfhoogte	[m]
H_{onbest}	Verticale gedeelte van de geul onder de bestorting	[m]
H_r	Rekenwaarde voor de golfhoogte aan de teen van de dijk	[m]
H_s	Significante golfhoogte	[m]
H_{tot}	Totale taludhoogte	[m]
HW	HoogWater	[m NAP]
H_{vw}	Dikte verwekingsgevoelige laag	[m]
I	Horizontale indringingsdiepte	[m]
I_p	Plasticiteitsindex	[%]
L	– Kwelweglengte – Breedte van de dijkbasis – Diepte van de gesloten damwand ten opzichte van de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding	[m] [m] [m]
L_0	Golflengte op diep water	[m]
L_{op}	Golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode T_p	[m]
L_s	Inscharingslengte	[m]
LW	LaagWater	[m NAP]
$M_{bestorting}$	Horizontale afmeting van de bestorting vanaf de teen	[m]
MGW	Maatgevende GrondWaterstand	[m NAP]
MHW	Maatgevend HoogWater	[m NAP]
M_{rek}	Rekenwaarde van de marge	[m]
M_x	massa die door x% van de steenstukken van een sortering wordt onderschreden	[kg]
N	– Aantal golven – Aantal lastherhalingen	[-] [-]
O_{90}	Karakteristieke openingsgrootte van een geotextiel die door 90% van de openingen wordt onderschreden	[m]

P	Permeabiliteitsfactor	[-]
P_L	Luchtdruk onder de kruin ten opzichte van de atmosferische druk	[Pa]
Q_n	Factor, afhankelijk van de taludhelling	[-]
R_w	Reductiefactor toegepast op de benodigde laagdikte	[-]
S	Schadegetal	[-]
S_{af}	Afschuivingspunt	[-]
SP	Streefpeil	[m NAP]
T	Golfperiode	[s]
T_e	Extra teruggang van duin	[m]
T_m	Gemiddelde golfperiode	[s]
$T_{m-1,0}$	Spectrale periodemaat	[s]
T_p	Piekperiode	[s]
V	Breedte voorland	[m]
W_l	Vloeigrens	[%]
WP	Winterstreefpeil	[m NAP]
Z_k	Zandgehalte	[%]
a	Verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand	[m]
b	Slootbodembreedte	[m NAP]
b_{berm}	Breedte berm	[m]
b_f	Dikte van de granulaire laag/filter	[m]
b_k	De dikte van de cohesieve laag	[m]
b_{kr}	Actuele kruinbreedte	[m]
br	Breedte van scheur of naad	[mm]
d	– Dikte van slecht doorlatend pakket nabij uittredepunt – Dikte van klei-/veenpakket ter plaatse van achterland – Afstand waarover de regressielijn landwaarts wordt verschoven voor verwerking profiel fluctuaties – Waterdiepte	[m] [m] [m] [m]
d_{\downarrow}	Ondergrens waterdiepte	[m]
d_{\uparrow}	Bovengrens waterdiepte	[m]
$d_{5\%}$	Waarde voor de laagdikte met een onderschrijdingskans van 5%	[m]
d_b	Waterdiepte boven de buitenknik van de berm	[m]
d_{berm}	Hoogte berm ten opzichte van maaiveld	[m]
d_{min}	Minimale laagdikte	[m]
$d_v(y)$	De vereiste laagdikte op y meter van de onderkant van de gesloten bekleding	[m]
$d_{v,max}$	Maximale vereiste laagdikte	[m]
$d_{v,max,r}$	Maximale vereiste laagdikte inclusief reductie	[m]

f	– Factor voor het bepalen van de rekenwaarde van de top laagdikte van een steenzetting op het buitentalud van een lage havendam	[-]
	– Invloedsfactor	[-]
	– Factor voor benodigde steendiameter	[-]
f_a	Factor bij eenvoudige toetsing op Macrostabieleit binnenwaarts	[-]
f_k	factor bij eenvoudige toetsing op Macrostabieleit binnenwaarts	[-]
g	Zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
\bar{g}	Afstand waarover de regressielijn landwaarts wordt verschoven voor invloed gradiënt langstransport	[m]
h	– Actuele kruinhoogte t.o.v. maaiveld achterland	[m]
	– Verschil tussen waterstand achter kering en hoogte voorland	[m]
	– Waterdiepte voor de constructie	[m]
h_0	Hoogte afslagzone tot snijpunt met harde constructie	[m]
h_A	– Hoogte afslagzone	[m]
	– Hoogteverschil tussen het Toetspeil en het niveau behorende bij een fictief overslagdebiet q ter grootte van 0,1 l/m/s	[m]
h_{boven}	Hoogte van het boventalud in geval van een verzadigd waterkerend grondlicaa (= $2 \times h_{\text{dijk}}$)	[m]
h_c	– Het niveau van de kruin ten opzichte van Toetspeil + toelagen	[m]
	– Relatieve kruinhoogte	[m NAP]
	– Hoogte van constructie en afsluitmiddelen	[m]
h_d	Niveau aan de onderzijde van de bekleding waar de dichte bekleding begint t.o.v. de buitenwaterstand	[m]
h_{dijk}	Hoogte van het waterkerend grondlicaa	[m]
h_{fictief}	Fictieve geuldiepte	[m]
h_{geul}	Geuldiepte	[m]
h_{kr}	– Absolute hoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn op de peildatum	[m NAP]
	– Kerende hoogte	[m NAP]
h_L	Niveau van de freatische lijn t.o.v. de buitenwaterstand	[m]
h_m	Waterdiepte t.p.v de overgang ondiep voorland - waterkering	[m]
h_{onder}	Hoogte van het ondertalud (= $h_{\text{geul}} + \Delta h_{\text{onder}}$)	[m]
h_{opw}	Lokale opwaaiing	[m]
h_{ov}	Overslag- of overloophoogte	[m]
h_{sbb}	Invloed van seiches, bui-oscillaties en buistoten	[m]
h_t	Waterdiepte op de teen	[m]
k	Minimaal vereiste kruinbreedte	[m]
l	Lengte van de scheur of naad	[m]

n	Cotangens van de taludhelling van het binnentalud	[-]
q	– Overslagdebiet – Toeslagwaarde voor aanwezigheid van een damwand op de hoogte van de dichte bekleding – Oploop- of overslagdebiet	[l/m/s] [m] [l/m/s]
r	– Lengte voor bepaling achteruitgang kust – Toeslagwaarde voor aanwezigheid van een gesloten teenbescherming op de hoogte van de dichte bekleding	[m] [m]
s_{op}	Golfsteilheid op diepwater op basis van piekperiode	[-]
t	Tijd	[s, d, jr]
t_{gp}	Tijdstip waarop het afslagpunt het grensprofiel bereikt	[-]
t_k	De tijdsduur dat het te toetsen punt in de klapzone ligt	[uur]
t_{kmax}	Maximaal toelaatbare belastingduur voor de klapzone	[uur]
t_{rg}	Reststerkte van de toplaag + de granulaire laag	[uur]
t_{rk}	Reststerkte van de kleilaag	[uur]
t_s	De tijdsduur dat het te toetsen punt in de oploop-/orbitaalzone ligt	[-]
t_{sm}	Maatgevende belastingduur	[uur]
t_{smax}	Maximaal toelaatbare belastingduur voor golfoploop	[uur]
t_{sr}	Rekenwaarde van de belastingduur voor golfoploop	[uur]
u	– Maximale stroomsnelheid op de kruin – Diepte-gemiddelde stroomsnelheid – Waterspanning	[m/s] [m/s] [kN/m ²]
v	Verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand	[m]
v_r	Rekenwaarde van de stroomsnelheid tijdens een golfperiode	[m/s]
y	De verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt	[m]
z	– Verticale afstand – Verschil tussen MGW en onderzijde gesloten bekleding – Hoogte van het te toetsen punt op het buitentalud ten opzichte van Toetspeil + toeslagen	[m] [m] [m]
$z_{2\%}$	Golfoploophoogte, verticaal gemeten ten opzichte van de waterstand, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven	[m]
z_q	Golfoploophoogte ten opzichte van Toetspeil + toeslagen, behorende bij een oploopdebiet q van 0,1 l/m/s	[m]
Δ	– Relatieve dichtheid – Relatieve dichtheid van de toplaag	[-] [-]
ΔH	Hoogteverschil tussen Toetspeil en de waterstand achter de kering of het maaiveld achter de kering indien geen sloot aanwezig is	[m]
Δh_{onder}	Hoogte van het gedeelte van de geul dat bij extreem laagwater boven water ligt	[m]

Ω	Open-ruimtepercentage	[%]
α	– Gemiddelde taludhelling in de zone tussen Toetspeil - 1,5H _s en Toetspeil + 1,5H _s – Taludhelling – Coëfficiënt bij de wettelijke waterstandsnorm – Gemiddelde taludhelling – Locale taludhelling – Taludhelling van de asfaltbekleding	[°] [°] [-] [-] [-] [°]
α_{boven}	Hoek tussen het maaiveld van het voorland en het talud van de waterkering	[°]
α_k	Taludhelling voor het mechanisme golfklap	[-]
α_o	Taludhelling voor het mechanisme golfploop	[-]
α_{onder}	Hoek tussen de geulbodem en het onderwatertalud	[°]
β	Hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering	[°]
γ_{berm}	Gewogen gemiddeld volumegewicht van het materiaal waaruit de berm is opgebouwd	[kN/m ³]
γ_{nat}	Gewogen gemiddeld volumegewicht van slecht doorlatend pakket	[kN/m ³]
γ_o	Veiligheidsfactor	[-]
γ_w	Volume gewicht water	[kN/m ³]
∂	Rekenparameter	[-]
ξ_m	Golfbrekerparameter gebaseerd op T _m	[-]
ξ_{0p}	Golfbrekerparameter gebaseerd op piekperiode	[-]
ρ_a	Dichtheid bekleding	[kg/m ³]
ρ_s	Dichtheid van breuksteen	[kg/m ³]
ρ_t	Dichtheid van de toplaag	[kg/m ³]
ρ_{te}	Dichtheid van de toplaagelementen	[kg/m ³]
ρ_w	Dichtheid van water	[kg/m ³]
σ	– Bezwijksterkte – Grondspanning	[N/m ²] [kN/m ²]
σ'	Korrelspanning of effectieve spanning	[kN/m ²]
τ	Schuifsterkte	[kN/m ²]
φ	Hellingshoek voor bepaling schadeprofiel	[°]

Appendix A

Wet op de waterkering

1 Geschiedenis

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Kamerstuknummer:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

15 januari 1996

Staatsblad, 1996, 8
Tekst is versie van 15 januari 1996
21 195
Staatsblad, 1996, 20
Wet op de waterkering

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Kamerstuknummer:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

1 januari 1998

Staatsblad, 1997, 510
Art. 21 (lid 2), 22 (lid 1&2), 23 (lid 1)
25 280
Staatsblad, 1997, 581
Wijzigingen in de behandeling door
Gedeputeerde Staten

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Kamerstuknummer:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

17 februari 1999

Staatsblad, 1999, 30
Art. 22 (lid 1)
25 836
Staatsblad, 1999, 40
Vóór '10:31' wordt het woord 'Artikel' gevoegd

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

1 februari 2002

Staatsblad, 2001, 480
Bijlage II
Staatsblad, 2001, 480
Wijziging van de veiligheidsnorm voor dijkkring
40 (Heerewaarden) in 1/500

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Kamerstuknummer:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

1 september 2002

Staatsblad, 2002, 292
Art. 16
27 922
Staatsblad, 2002, 292
Artikel 16 vervalt (opgenomen in provinciale
verordening)

Gewijzigd bij:
Inhoud wijziging:
Kamerstuknummer:
Publicatie inwerkingtreding:
Omschrijving:

Staatsblad, 2002, 304
Art. 1, 15, Bijlage I, Bijlage II
27 799
Staatsblad, 2002, 304
Aanwijzing Markermeer als buitenwater

Inwerkingtreding:

Gewijzigd bij:

Inhoud wijziging:

Kamerstuknummer:

Publicatie inwerkingtreding:

Omschrijving

28 september 2005

Staatsblad, 2005, 275

Wijziging van de Wet op de waterkering, onder andere ten aanzien van de aanwijzing van de Maaskaden als primaire waterkering (Bijlage IA en IIA) en het stellen van toetsregels door de minister (Art. 5a)

Intrekking van de Deltawet grote rivieren, de Deltawet, de Deltaschadewet, de Wet schade oesterkwekers, de Vergunningwet Westerschelde, de Zuiderzeewet en de Zuiderzeesteunwet 29 747

Staatsblad, 2005, 461 (27-09-2005)

Wijzigingswet Wet op de waterkering en intrekking Deltawet grote rivieren, etc.

2 Wet op de waterkering

De tekst van de Wet op de waterkering is te vinden op <http://wetten.overheid.nl/>.

Colofon

Uitgegeven door: Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Informatie: Helpdesk Water
Telefoon: 0800-NLWATER (0800-659 28 37)
E-mail: contact@helpdeskwater.nl
Internet: www.helpdeskwater.nl

Uitgevoerd door: Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft
en
HKV [LIJN IN WATER](#)

In opdracht van: Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Water, Den Haag

Figuren: R.P. van der Laag en P.J.L. Blommaart
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft

Productie: Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft

Document: ISBN 978-90-369-5762
NUR: 956

Datum: Augustus 2007