

# Handreiking Dijkbekledingen

Deel 1: Algemeen







Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

# Handreiking Dijkbekleding

## Deel 1: Algemeen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat WWL en Projectbureau Zeeweringen
Datum	Januari 2015
Status	Definitief





## Voorwoord

### Inleiding en kader

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

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

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

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

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

Deze handreiking wordt binnenkort in het nieuwe structuur van ENW Leidraden en Technische Rapporten verwerkt.

Dit onderdeel van de Handreiking Dijkbekledingen betreft Deel 1: Algemeen.

### Structuur en samenhang

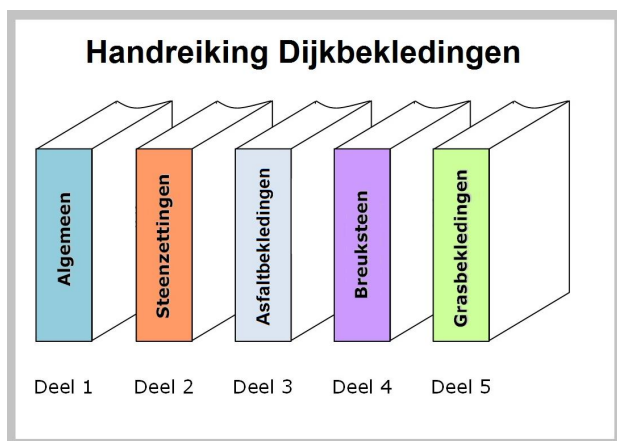
De Handreiking Dijkbekledingen bestaat uit vijf delen:

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

ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van breuksteenbekledingen.

Deel 5 : *Grasbekledingen*

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



De indeling van de Handreiking is per onderdeel verschillend:

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

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

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

Totstandkoming Handreiking Dijkbekledingen

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

Deel 1 : *Algemeen* (dit onderdeel) is integraal gebaseerd op het rapport:

- *Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen. Hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen* [61].

Deel 2 : *Steenzettingen* is onder andere gebaseerd op onderdelen van:

- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [7];
- de *Documentatie Steentoets2008 en Steentoets2010* [64];

- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 2.
- Deel 3 : *Asfaltbekledingen* is onder andere gebaseerd op onderdelen van:
- het *Technisch Rapport Asphalt voor waterkeren* [6];
  - de *State of de Art Asfaltdijkbekledingen* [62];
  - overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 3.
- Deel 4 : *Breksteen* is onder andere gebaseerd op teksten uit:
- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [7];
  - overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 4.
- Deel 5 : *Grasbekledingen* is vrijwel gelijk aan de '*Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*' en is gebaseerd op:
- het onderzoeksrapport *Toetsen Grasbekledingen op Dijken* [63].

De Handreiking Dijkbekledingen is tot stand gekomen mede door:

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat (WVL en Projectbureau Zeeweringen)	
Opgesteld door	J. Cirkel, C. van Dam ( <i>projectleiders</i> ) E. van den Akker, J.-W. Nell ( <i>redacteurs</i> )	Royal HaskoningDHV
Bijdragen en Begeleidingsgroep	M. Klein Breteler R. 't Hart B. Wichman C.J. Dorst Y. Provoost A. Bizzarri ( <i>projectleider</i> )	Deltares Deltares Deltares RWS RWS RWS
( <i>Externe</i> ) kwaliteitsborging 2014	ENW Klankbordgroep Steenzettingen <i>E. van Hijum (voorzitter)</i>  ENW Klankbordgroep Asphaltbekledingen <i>M. van de Ven (voorzitter)</i>	    TU-Delft

Deel 1: Algemeen (dit onderdeel) is tot stand gekomen mede door:

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zeeland, Projectbureau Zeeweringen	
Opgesteld door	A. van den Berg, M. Caljouw, M. Kraneveld G.R. Spaargaren.	Witteveen+Bos

Begeleidingsgroep	M. Klein Breteler M.B.G. Ketelaars E.W.M. Roex P. van Steeg	Deltares
Klankbordgroep	H. J. Verhagen R. 't Hart N. Leguit A.K. de Loof C.C. Montauban R.P.M. Berbee A. Bizzarri C.J. Dorst Y. Provoost	TU Delft Deltares Hydraphalt KOAC NPC - RWS RWS RWS RWS
Kwaliteitsborging 2010	ENW	

## Inhoudsopgave (Deel 1: Algemeen)

	Voorwoord	
	Lijst met afkortingen	
	Symbolenlijst	
1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Achtergrond en doelgroep	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Structuur in eisen en wensen	3
2.1	Wettelijke bepalingen	4
2.1.1	Waterwet	4
2.1.2	Wet bodembescherming	5
2.2	Primaire en secundaire functies van een dijkbekleding	6
2.3	Aspecteisen	8
3	Eisen vanuit de primaire functie	9
3.1	Stabiliteit van bekleding onder golfaanval	10
3.1.1	Belastingen door golven	11
3.1.2	Belastingzones onder golfaanval	12
3.1.3	Overzicht traditionele bekledingen onder golfaanval	12
3.1.4	Overzicht faalmechanismen traditionele bekledingen onder golfaanval	14
3.1.4.1.	Toplaaginstabiliteit	14
3.1.4.2.	Materiaaltransport van onderliggend materiaal	17
3.1.4.3.	Afschuiving	19
3.2	Stabiliteit van bekleding onder stroming	20
3.2.1	Belasting door stroming	20
3.2.2	Belastingzones onder stroming	21

3.2.3	Overzicht faalmechanismen traditionele bekledingen onder stroming	21
3.3	Stabiliteit van bekleding bij waterstandsverschillen	22
3.3.1	Belasting door wateroverdruk	22
3.3.2	Belasting door luchtdruk	23
3.4	Constructie gerelateerde belastingen	23
3.5	Overige belastingen	23
3.6	Bedreigingen	26
3.7	Synthese	26
3.8	Aantoonbaarheid	27
3.8.1	Aanleiding aantoonbaarheid: toetsing en ontwerp	27
3.8.2	De opgave van aantoonbaarheid	29
3.8.3	Verantwoordelijkheid voor aantoonbaarheid	30
3.8.4	Methoden om sterkte aan te tonen	30
4	Milieuhygiënische aspecten	37
4.1	Beoordeling van bouwstoffen (gerede producten)	38
4.1.1	Steenachtige bouwstoffen	38
4.1.2	Niet-steenachtige bouwstoffen	38
4.2	Beoordeling van in-situ bereide producten	39
4.2.1	Optimalisatie aanlegfase	40
4.2.2	Vooronderzoek	40
4.2.3	In-situ onderwater toepassing	42
4.3	Overzicht	42
4.4	Plan van aanpak	43
5	Eisen en wensen vanuit secundaire functies	45
5.1	Verkeer	45
5.2	Recreatie	46



5.3	Ecologie	46
5.3.1	Ecologische functies	46
5.3.2	Geschiktheid bekledingsmaterialen	46
5.3.3	Voorbeelden	47
5.4	Wonen	48
5.5	Agrarisch medegebruik	49
5.6	Aantoonbaarheid	49
5.7	Synthese	49
6	Overige aspecten	51
6.1	Uitvoering	51
6.1.1	Inleiding	51
6.1.2	Tijd	51
6.1.3	Moeilijkheidsgraad	52
6.1.4	Toleranties	53
6.1.5	Controleerbaarheid	54
6.1.6	Overlast	54
6.2	Kwaliteitssysteem en kwaliteitscontrole	54
6.2.1	Geborgde kwaliteit	54
6.2.2	Kwaliteitsverklaringen	55
6.2.3	Beoordelingsrichtlijnen en normen	55
6.2.4	Inpassing innovatief materiaal met betrekking tot certificering en normen	56
6.3	Beheer en onderhoud	56
6.4	Beheer en onderhoud - Beoordeling - VTV	56
6.5	Verwijderbaarheid	57
6.6	Overgangen, aansluitconstructies en bochten	57
6.7	Duurzaam bouwen - milieueffecten van het materiaalgebruik	58
6.8	Ruimtelijke kwaliteit – LNC-aspecten	60

6.9	Levensduur	61
6.10	Kosten	62
6.11	Synthese	62
7	Werkwijze	65
7.1	Stappenplan voor de ontwikkelaar	65
7.2	Afvinklijst voor de dijkbeheerder	68
8	Voorbeeld: Breuksteen	71
9	Literatuur	79
10	Bijlagen	83
Bijlage I:	Beschrijving traditionele bekledingen	85
Bijlage II:	Wettelijke bepalingen (2010)	89
Bijlage III:	Piramide van eisen	99
Bijlage IV:	Emissie-immissie innovatieve materialen	101
Bijlage V:	Voorbeeld schaalmodelonderzoek	103
Bijlage VI:	Hydraulische belastingen	107
COLOFON		113

## Lijst met afkortingen

---

### afkorting

---

ABM	Algemene Beoordeling methodiek
ENW	Expertise Netwerk Waterveiligheid
KRW	Kader Richtlijn Water
LCA	Levens Cyclus Analyse
LNC-aspecten	Landschap, Natuur en Cultuur - aspecten
M.e.r.	Milieueffect rapportage
MKN	Milieukwaliteitsnorm
MTR	Maximaal Toelaatbaar Risico
ontwerp-BKMW	ontwerp-Besluit Kwaliteitseisen en Monitoring Water
REACH	Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemische stoffen
RWS-WVL	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
TEB	Totaal Effluent Beoordeling
VR	Verwaarloosbaar risico
VTV	Voorschrift Toetsen op Veiligheid
Wbr	Wet beheer rijkswaterstaatswerken
WTI	Wettelijk Toets Instrumentarium
Wvo	Wet verontreiniging oppervlaktewateren

---

## Symbolenlijst

C	Constante (weerstandscoefficiënt)	[-]
D	Laagdikte van de toplaag	[m]
$D_{nx}$	Nominale diameter van granulair materiaal: de diameter van de denkbeeldige kubus met massa $M_x$ en dichtheid $\rho$ ( $D_{nx} = (M_x/\rho)^{1/3}$ )	[m]
$F_D$	Sleepkracht	[N]
$F_F$	Reactiekracht	[N]
$F_L$	Opwaartse kracht	[N]
$F_s$	Schuifkracht	[N]
$H_i$	Golfhoogte secundaire golven (Dipro+)	[m]
$H_{m0}$	Spectrale golfhoogte	[m]
$H_s$	Significante golfhoogte	[m]
K	Evenredigheidsfactor	[-]
L	Golfengte	[m]
$L_0$	Golfengte op diep water	[m]
$L_{op}$	Golfengte op diep water die hoort bij de piekperiode $T_p$	[m]
N	Aantal golven in een storm	[-]
$T_i$	Golfperiode secundaire golven (Dipro+)	[s]
$T_m$	Gemiddelde golfperiode	[s]
$T_{m-1,0}$	Spectrale periodemaat	[s]
$T_p$	Piekperiode	[s]
W	Gewicht	[N]
g	Zwaartekrachtversnelling	[m/s <sup>2</sup> ]
$i_f$	Golfsteilheid frontgolven (Dipro+)	[-]
$i_{max}$	Golfsteilheid haalgolf (Dipro+)	[-]
s	Golfsteilheid	[-]
$S_{op}$	Golfsteilheid op diepwater op basis van piekperiode	[-]
t	Stormduur	[s]
u	Stroomsnelheid	[m/s]
$Z_{max}$	Golfhoogte haalgolf (Dipro+)	[-]
$\alpha$	(Gemiddelde) taludhelling	[°]
$\beta$	Hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering	[°]
$\Delta$	Relatieve dichtheid	[-]
$\Delta h$	Waterspiegeldaling (Dipro+)	[m]
$\Delta h_f$	Golfhoogte frontgolven (Dipro+)	[m]
$\xi$	Golfbrekerparameter	[-]
$\xi_{op}$	Golfbrekerparameter gebaseerd op piekperiode	[-]
$\rho$	Dichtheid, soortelijke massa	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{te}$	Dichtheid van de toplaagelementen	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	Dichtheid van (zee)water	[kg/m <sup>3</sup> ]

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Deel I van deze Handreiking Dijkbekledingen heeft een algemeen karakter. Het start met een overzicht van de (primaire en secundaire) functies die een bekleding op een waterkering moet vervullen. Verder behandelt het de functionele eisen waaraan de bekleding dient te voldoen en de wensen en aspecten die in de praktijk een rol spelen. Dit deel I bevat ook de aspecten die beoordeeld dienen te worden als men nieuwe typen (innovatieve) bekledingen wil toepassen. Als handreiking voor de ontwikkelaar en de dijkbeheerder zijn een stappenplan en een afvinklijst opgenomen die bij de introductie, respectievelijk acceptatie van nieuwe dijk-bekledingen behulpzaam kunnen zijn.

## 1.2 Achtergrond en doelgroep

Regelmatig ontstaan er in de markt ideeën voor innovaties op het gebied van dijkbekledingen. De beschikbare eisen en rekenregels hebben betrekking op een beperkt aantal bekledingen, namelijk gezette steenbekleding, breuksteen, asfaltbetonbekledingen en gras. Deze zijn uitgewerkt in de andere delen van dit rapport ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer & onderhoud. Vooral in situaties waar de innovatieve bekledingen afwijken van bestaande bekledingen heerst er onduidelijkheid of deze bekledingen in de praktijk kunnen worden toegepast en aan welke eisen deze dan dienen te voldoen.

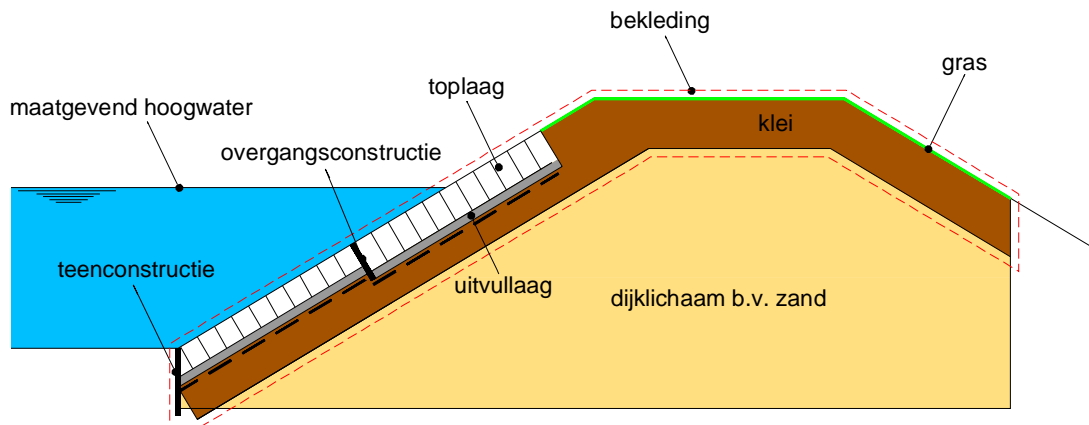
Voorliggend onderdeel van de Handreiking is bedoeld om hier een handvatten voor te geven. Op een overzichtelijke manier zijn de voor een dijkbekleding van toepassing zijnde primaire en secundaire functies, aspecten en wettelijke bepalingen in kaart gebracht. Hieruit zijn de functionele eisen en wensen afgeleid waaraan een dijkbekleding moet voldoen (dwingend), of gewenst is om aan te voldoen om zo een meerwaarde te creëren (aanbevelend).

De doelgroep voor deze informatie is enerzijds de dijkbeheerder en anderzijds de ontwikkelaar (bedrijfsleven). De dijkbeheerder is verantwoordelijk voor de waterkering waar de bekleding onderdeel van uit maakt. Hij dient zorg te dragen voor een bekleding die de vereiste en gewenste functies vervult en voldoet aan het wettelijk kader. De ontwikkelaar ontwikkelt een materiaal en wil graag dat dit als dijkbekleding toegepast kan gaan worden op een waterkering. Door het algemene karakter van dit deel van deze Handreiking, is de informatie die hierin is opgenomen enigszins 'overlappend' met de uitwerkingen in de overige delen voor een aantal specifieke typen bekledingen. Voor het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van steenzettingen, asfalt en gras wordt geadviseerd om direct deze delen van het TR-DB te gebruiken.

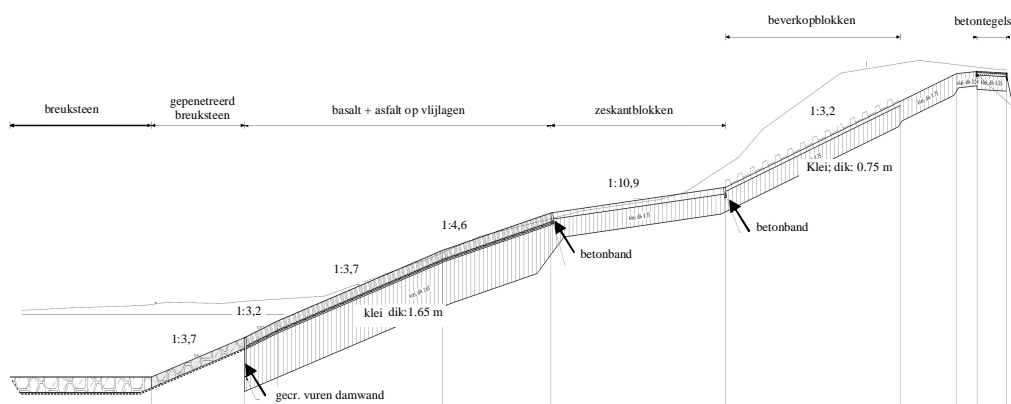
Deze Handreiking richt zich op bekledingen van dijken, dammen, oevers en boezemkaden met als primaire functie bescherming tegen hoogwater, golven en stroming. De Handreiking is in principe bedoeld voor dijkbekleding op primaire waterkeringen (in Nederland) maar kan ook nuttig gebruikt worden in geval van bekledingen op andere typen dijken of oevers.

Onder bekleding wordt in deze Handreiking verstaan het gehele pakket dat de kern van de waterkering of oever bedekt. Afhankelijk van het type kan de bekleding bestaan uit een toplaag, verschillende soorten tussenlagen en een onderlaag (vergelijk ter voorbeeld Figuur 1-1, 1-2, 2-2 en 3-7). De bekleding besproken in

deze Handreiking betreft de bekleding op de waterkering. Een bekleding die bijvoorbeeld vlak voor de waterkering ligt (bodembescherming) wordt niet behandeld.



Figuur 1-1: Voorbeeld bekleding met zetsteen en gras waarbij alleen de zandkern niet tot de bekleding behoort (sterk geschematiseerd), de rode stippellijn geeft aan wat binnen de bekleding valt



Figuur 1-2: Voormalig dwarsprofiel dijkbekleding (Zoutelande)

### 1.3

#### Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de structuur in eisen en wensen uiteengezet die in het vervolg van het Rapport is gehanteerd. In deze structuur wordt onderscheid gemaakt in wettelijke eisen (§2.1), primaire eisen (hoofdstuk 3), secundaire eisen (hoofdstuk 5) en aspecteisen (hoofdstuk 6). Uit de wettelijke eisen volgt onder andere dat bekledingen niet waterbezwaarlijk mogen zijn. Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 7 is een overzicht opgenomen van de eisen en wensen waaraan een dijkbekleding dient te voldoen in de vorm van een stappenplan voor de ontwikkelaar en een afvinklijst voor de dijkbeheerder. In een voorbeeld wordt het stappenplan ten slotte doorlopen (hoofdstuk 8).



## 2 Structuur in eisen en wensen

Vanuit diverse wetgeving worden eisen aan bekledingen op een waterkering gesteld, bijvoorbeeld vanuit de Waterwet en het besluit Bodemkwaliteit. Eén van deze eisen is dat de dijkbekleding primair de veiligheid van de waterkering moet waarborgen, hetgeen harde eisen stelt aan bijvoorbeeld de erosiebestendigheid van een bekleding. Een dijkbeheerder kan een bekleding pas toepassen op een waterkering wanneer de ontwikkelaar heeft aangetoond dat ook werkelijk voldaan wordt aan de eisen.

- De bekleding moet voldoen aan de wettelijke bepalingen;
- De bekleding moet bescherming bieden aan de waterkering, zodat deze haar functie kan vervullen;
- De ontwikkelaar dient dit aan te tonen.

Dit is de kernboodschap van deze Handreiking (Deel 1).

Veel waterkeringen vervullen ook secundaire functies zoals recreatief gebruik of verkeer. Deze secundaire functies leiden in het algemeen tot wensen. Als laatste dient er ook rekening te worden gehouden met aspecten die niet direct verband houden met de functie maar wel belangrijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn beheer en onderhoud of duurzaamheid, wat leidt tot zogenaamde aspecteisen of wensen.

De structuur in dit onderdeel van deze Handreiking is gebaseerd op eisen vanuit wetgeving en vanuit de functies van de bekleding. Een andere structuur is mogelijk door te redeneren vanuit de gebruikerseisen. Uit de gebruikerseisen volgen functie-eisen en uiteindelijk volgen de eisen aan de aard van het materiaal. Voor het bepalen van al deze eisen is de piramide geschikt (zie bijlage III voor een verdere beschrijving van deze systematiek). Deze systematiek is niet verder uitgewerkt in deze Handreiking.

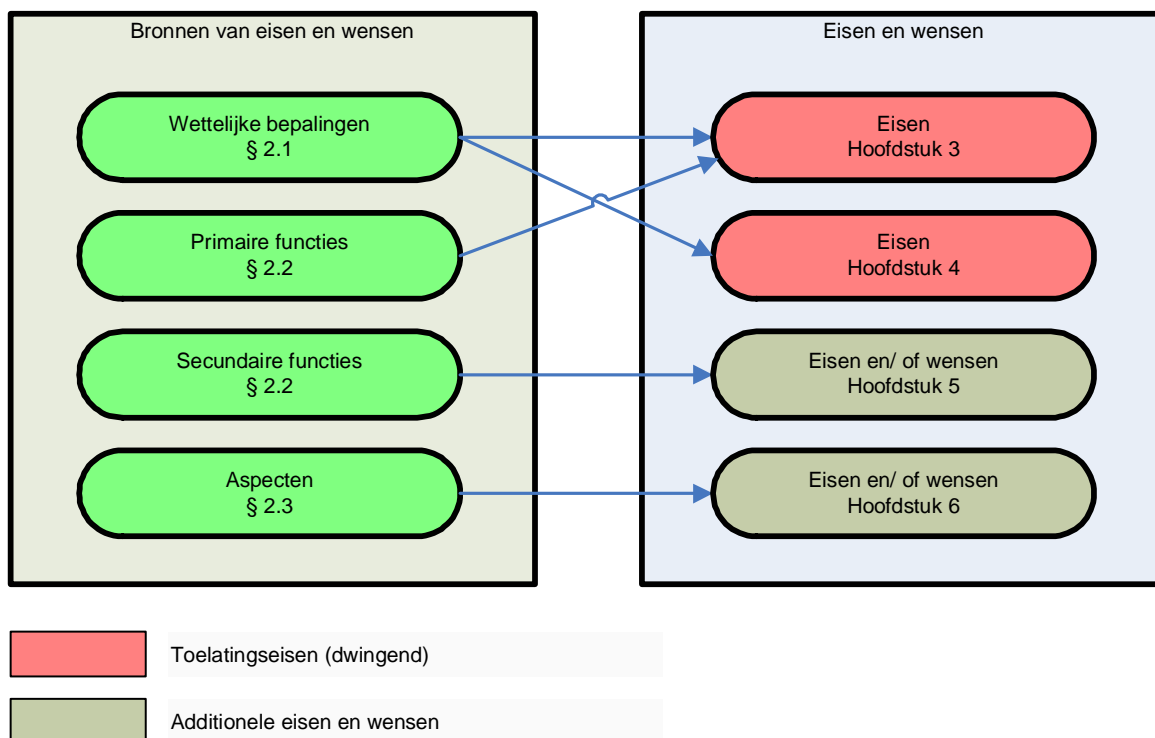
In deze Handreiking wordt onderscheid gemaakt tussen vier bronnen van eisen:

1. wettelijke eisen;
2. eisen vanuit de primaire functie;
3. eisen vanuit de secundaire functies;
4. aspecteisen.

De eerste twee bronnen leiden vooral tot toelatingseisen (dwingend) terwijl de laatste twee bronnen vooral leiden tot aanbevelende of additionele eisen en wensen (geven een meerwaarde aan het product). De eisen waaraan de bekleding dient te voldoen en een handreiking hoe de ontwikkelaar aan kan tonen dat aan de eisen wordt voldaan, zijn uitgewerkt in deze rapportage. De structuur van dit rapport is gebaseerd op de bovengenoemde bronnen van de verschillende eisen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2-1. Ook aangegeven is het hoofdstuknummer waar deze eisen en wensen in behandeld worden. De rapportage sluit af met een stappenplan die de ontwikkelaar kan doorlopen.

Er zijn in deze Handreiking eisen en wensen opgesteld voor bekledingen (materialen) die nog niet bestaan. Dat houdt het gevaar in dat iets over het hoofd is

gezien. Er zal dus steeds goed nagedacht moeten worden in de geest van deze Handreiking om problemen met waterkeringen te voorkomen.



Figuur 2-1: Schematisch overzicht structuur in eisen en wensen

## 2.1

### Wettelijke bepalingen

Bij het aanleggen van de bekleding op een waterkering spelen de juridische en wettelijke aspecten een belangrijke rol. Veel van de primaire en secundaire functies komen voort uit een wettelijke bepaling. Daarnaast volgen uit de wettelijke bepalingen de vereiste vergunningen om een dijkbekleding toe te mogen passen. In deze paragraaf wordt inzicht gegeven in een aantal wettelijke bepalingen die voor de ontwikkelaar van belang zijn. In bijlage II is een uitgebreider overzicht opgenomen van wettelijke bepalingen en eisen waarmee de ontwikkelaar en dijkbeheerder te maken hebben. Hier wordt tevens inzicht gegeven in nieuwe wet- en regelgeving die op korte en middenlange termijn te verwachten is.

De eisen die volgen uit de wettelijke bepalingen zijn voor alle toe te passen bekledingsoorten nagenoeg gelijk. De aan te leggen bekleding dient getoetst te worden aan deze eisen om te kunnen bepalen of de bekleding toepasbaar is. Er is een (juridisch) verschil tussen nieuwbouw, wijziging en onderhoud (zie bijlage II). De voornaamste wettelijke eisen vloeien voort uit de Waterwet en de Wet bodembescherming. Onder deze wetten valt het Besluit bodemkwaliteit voor respectievelijk de waterbodem en droge gronden. Hieronder is voor deze wettelijke kaders een nadere toelichting opgenomen.

### 2.1.1

#### Waterwet

Op 22 december 2009 is de Waterwet (afgekort Wtw) in werking getreden. Deze integrale wet omvat de beleidskaders die voorheen in onder andere de Wet op de waterkering, de Wet verontreiniging oppervlaktewateren en het waterbodemdeel

van de Wet bodembescherming waren opgenomen. Deze wetten zijn met de in werking treding van de Waterwet komen te vervallen. De meest relevante eisen voortkomend uit de Waterwet zijn:

- eisen met betrekking tot aanleg, wijziging, beheer en onderhoud van waterkeringen;
- eisen met betrekking tot bescherming van het oppervlaktewaterlichaam.

Deze eisen worden hieronder nader toegelicht.

#### Eisen met betrekking tot waterkeringen

De Waterwet voorziet in het juridisch kader voor de dijkaanleg, -verlegging en -verbetering van primaire waterkeringen. Deze wet stelt momenteel de veiligheidsnorm aangegeven als gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de waterkering moet zijn berekend (artikel 2.2 Wtw). Op termijn zal de veiligheidsnorm worden gebaseerd op de overstromingskans. De wet verplicht beheerders om een periodieke toets<sup>1</sup> op veiligheid van hun waterkering uit te voeren. Deze toetsing van waterkeringen en hun bekleding wordt op basis van het Wettelijk Toetsinstrumentarium uitgevoerd (zie §3.8.1). De dijkbekleding moet bescherming bieden aan de waterkering zodat deze kan voldoen aan de veiligheidsnorm. Daartoe dient de sterkte van de bekleding bekend te zijn. Tevens volgt uit bovenstaande dat er een methode beschikbaar moet zijn om de periodieke toetsing uit te kunnen voeren. Invulling van deze eisen wordt uitgewerkt in hoofdstuk 3.

#### Eisen met betrekking tot het oppervlaktewaterlichaam

De Waterwet omschrijft een oppervlaktewaterlichaam als een samenhangend geheel van vrij aan het aardoppervlak voorkomend water, met daarin aanwezige stoffen, alsmede de bijbehorende bodem, oevers en, voor zover aangewezen in de Waterwet, ook drogere oevergebieden, alsmede flora en fauna. De Waterwet voorziet in de bescherming van zowel waterbodems als oppervlaktewater. De wet voorziet in het onderzoeken, beheersen en/of saneren van waterbodems ter voorkoming van verontreiniging op het oppervlaktewaterlichaam vanuit de bodem. De uitgangspunten van de Waterwet en het Besluit bodemkwaliteit zijn hierin leidend (zie verder bijlage II).

Daarnaast voorziet de wet in het voorkomen en beheersen van stoffen, afkomstig van bijvoorbeeld een dijkbekleding, ter voorkoming van verontreinigingen op het oppervlaktewaterlichaam vanuit het bodemoppervlak. In deze beoordeling dient bepaald te worden of het materiaal verantwoord is te gebruiken. Deze beoordeling wordt uitgevoerd door de beheerder van de waterkering, zijnde Rijkswaterstaat of waterschap. Dit wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 4: milieuhygiënisch aspecten.

### 2.1.2

#### *Wet bodembescherming*

De Wet bodembescherming voorziet in wetgeving die de bodem in Nederland dient te beschermen. Indien een verontreiniging optreedt, biedt de wet de juiste regelgeving om deze verontreiniging te onderzoeken, beheersen en/of te saneren. Bij een nieuwe dijkbekleding is het dan ook van belang dat de bekleding niet in strijd is met het eerste uitgangspunt van de Wet bodembescherming: het voorkomen van verontreiniging van de bodem (zie verder bijlage II).

---

<sup>1</sup> Per 1-1-2014 treedt een wijziging van de Waterwet (Doelmatigheid en bekostiging hoogwaterbescherming) in werking.

## Besluit bodemkwaliteit

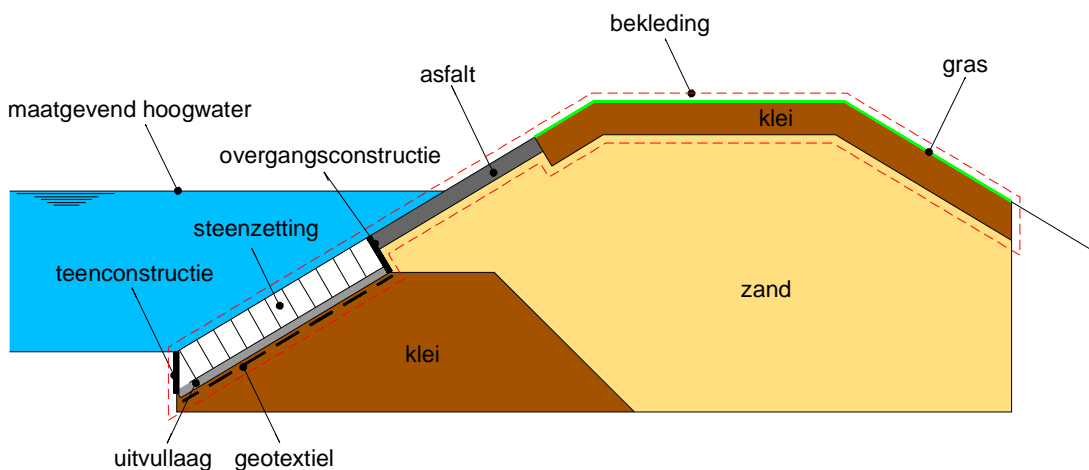
Hoofdstuk 3 van het Besluit bodemkwaliteit stelt regels op over (het toepassen van) bouwstoffen. Dit besluit heeft alleen betrekking op steenachtige materialen zoals bakstenen, dakpannen, asfalt en beton. In het Bbk (het Besluit bodemkwaliteit) zijn de maximale samenstellings- en emissiewaarden voor bouwstoffen opgenomen. Voldoet een materiaal niet aan deze waarden, dan is geen sprake van een bouwstof maar van een afvalstof. Om aan te kunnen tonen dat een bouwstof niet de maximale waarden overschrijdt, is een milieuhygiënische verklaring vereist. Het Besluit kent drie verschillende typen, te weten de partijkeuring, de erkende kwaliteitsverklaring en de fabrikant - eigenverklaring (een en ander wordt nader toegelicht in bijlage II en hoofdstuk 4).

### 2.2

#### Primaire en secundaire functies van een dijkbekleding

De primaire functie van een waterkering is het achterliggende gebied te beschermen tegen overstroming. Om de waterkering, die meestal is opgebouwd uit grond, te beschermen tegen erosie wordt een bekleding aangebracht. De primaire functie van de bekleding is het grondlichaam te beschermen zodat deze haar functie kan vervullen. Dit betekent dat de bekleding gedurende haar levensduur primair de volgende functies moet vervullen:

- de bekleding moet bestand zijn tegen de verwachte belastingen, namelijk de belasting door golven (wind- en scheepsgolven), stroming, waterstandsverschillen en overige belastingen;
- de onderliggende lagen moeten worden vastgehouden: de onderliggende lagen en het kernmateriaal mogen niet verdwijnen door een bovenliggende laag in de bekleding;
- weerstand tegen ongewenste vormverandering of degeneratie;
- en eventuele overige functies die voortvloeien uit specifieke aspecten van de betreffende bekleding.



Figuur 2-2: Schematisatie van een bekleding op een waterkering, de rode stippellijn geeft aan wat de bekleding is

Afhankelijk van de situatie kan de bekleding een aantal andere functies van de waterkering vervullen. Deze zijn grotendeels afgeleid vanuit de primaire functies van de waterkering. Tot deze 'waterbouwkundige secundaire functies' kunnen de volgende functies van een waterkering behoren:

- reductie van golfoploop;

- het leveren van een bijdrage aan de waterdichtheid van de kering;
- beperken van onderhoud;
- verhogen van macrostabiliteit (bijvoorbeeld door gewapende grond of gewicht);
- overig.

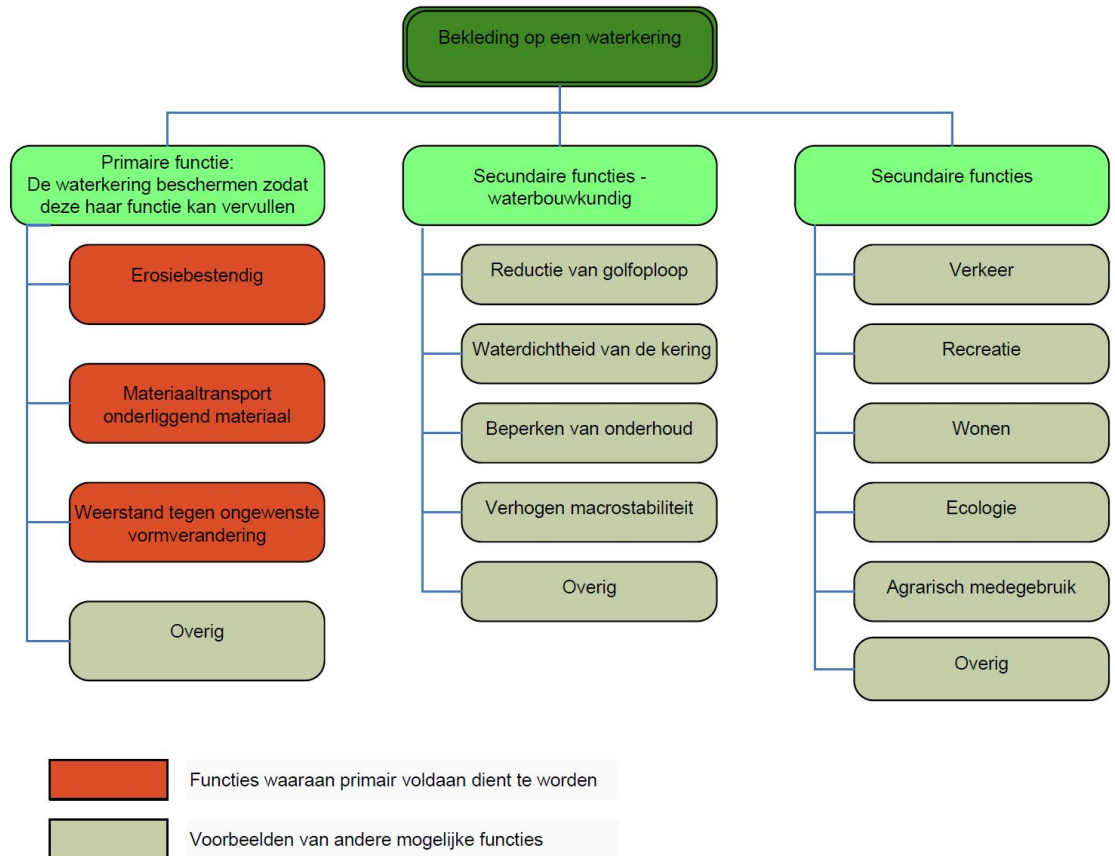
Deze waterbouwkundige secundaire functies komen wel aan de orde in hoofdstuk 3 bij de uitwerking van de primaire functies, maar zijn in deze Handreiking niet verder uitgewerkt.

Naast de waterkerende functie van de bekleding is een aantal niet-waterkerende (secundaire) functies te definiëren:

- verkeer;
- landschap/ecologie;
- recreatie;
- landbouw;
- wonen;
- overig.

De secundaire functies worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Vaak is de functie van een waterkering een combinatie van primaire en secundaire functies. In Figuur 2-3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende functies van een dijkbekleding.



Figuur 2-3: Overzicht functies bekleding

### 2.3

#### Aspecteisen

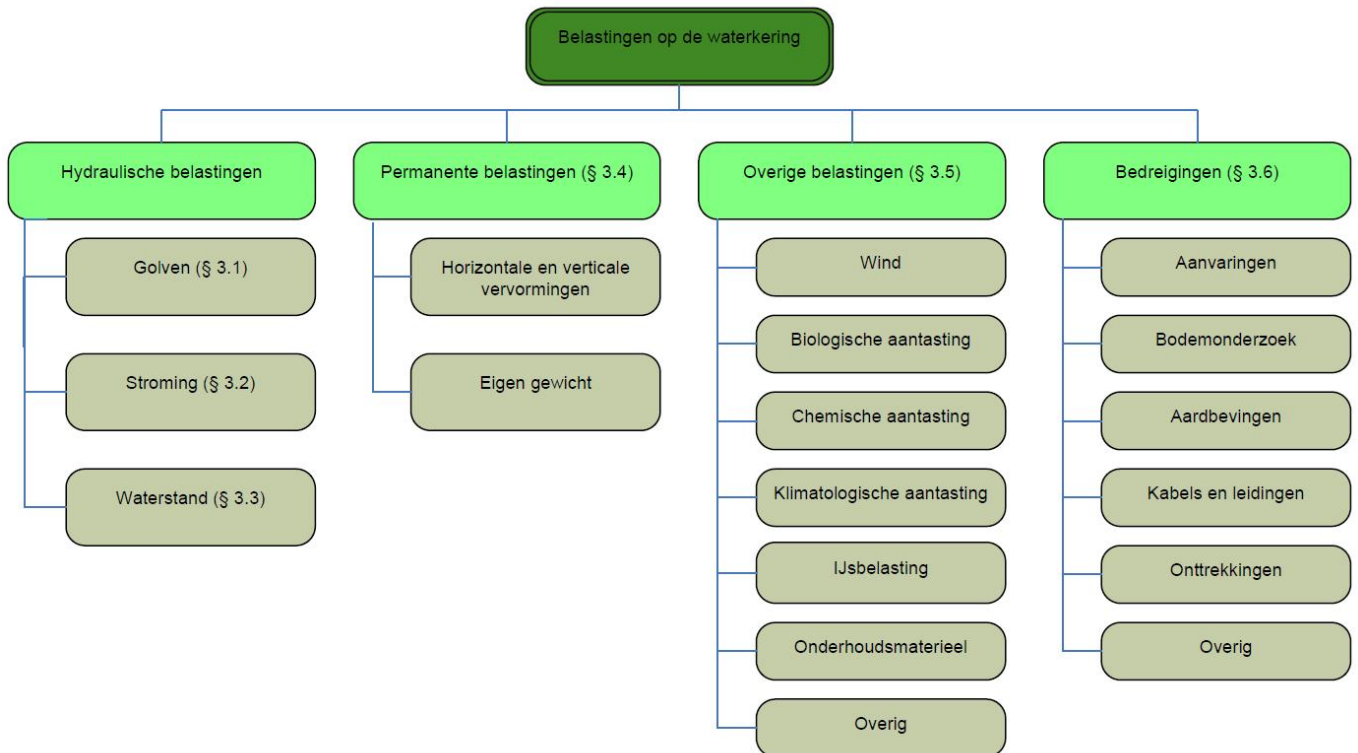
De aspecteisen beschrijven over het algemeen eigenschappen van de bekleding die niet direct bijdragen aan een functie. Deze eisen bepalen echter wel de eigenschappen die de te ontwikkelen bekleding moet hebben of de wijze waarop de bekleding geplaatst moet worden zodanig dat het gewenste niveau van kwaliteit wordt bereikt. De aspecten worden doorgaans gewaardeerd ter afweging (wensen): een snelle plaatsing wordt bijvoorbeeld als gunstig gezien. Wensen kunnen afhankelijk van de situatie worden verheven tot eis: een snelle plaatsing kan binnen de getijzone een eis vormen omdat het tijdsvenster waarbinnen boven water gewerkt kan worden, beperkt is.



### 3 Eisen vanuit de primaire functie

Het doel van hoofdstuk 3 is het verschaffen van een zo compleet mogelijk overzicht van wat vanuit het oogpunt waterkeren belangrijk is voor een dijkbekleding, welke functionele eisen hieruit kunnen worden afgeleid en hoe aan deze eisen voldaan kan worden. Bovenaan staan twee stellingen:

- de bekleding moet bescherming bieden aan de waterkering, zodat deze haar primaire functie kan vervullen (§3.1 – 3.7);
- de ontwikkelaar moet aantoonbaar maken dat de bekleding hieraan voldoet voor de beoogde levensduur (ontwerp) en moet een methode geven waarmee de sterkte iedere toetsperiode kan worden getoetst (§3.8).



Figuur 3-1: Overzicht belastingen

De primaire functie van de bekleding is in hoofdstuk 2 gedefinieerd als: 'De bekleding moet bescherming bieden aan het grondlichaam van de waterkering, zodat deze haar functie kan vervullen.' Dit betekent dat de bekleding bestand dient te zijn tegen alle verwachte belastingen. Uit de verschillende belastingen volgen dan de eisen waaraan de bekleding dient te voldoen om haar primaire functie te vervullen. De mogelijk optredende belastingen en bedreigingen die kunnen leiden tot falen en/of bezwijken van de bekleding kunnen als volgt worden onderverdeeld [5], [2] en [8]:

- hydraulische belastingen;
- constructiegerelateerde belastingen/permanente belastingen;
- overige belastingen;

- bedreigingen.

In Figuur 3-1 is een overzicht gegeven van de belastingen met tussen haakjes de paragraaf waar de belasting wordt behandeld. In de paragrafen zijn de belastingen toegelicht met illustraties en voorbeelden en zijn de eisen afgeleid. In §3.7 wordt een samenvatting gegeven van belastingen en faalmechanismen. In §3.8 wordt besproken op wat voor manieren de ontwikkelaar aan kan tonen dat het product voldoet aan de functionele eisen.

### 3.1 Stabiliteit van bekleding onder golfaanval

De bekleding moet bescherming bieden tegen belasting door golven.

Op het wateroppervlak komen altijd golven voor. Er zijn heel veel verschillende soorten golven, variërend van kleine korte golfjes tot lange deininggolven. In deze paragraaf worden golven besproken die door wind zijn gegenereerd of die ontstaan door passerende schepen. Deze golven variëren van enkele centimeters (feitelijk doen die er niet toe) tot metershoge golven die tijdens een storm op open water als de Noordzee kunnen ontstaan. Golven worden weergegeven met een karakteristieke golfhoogte en golfperiode. De golfhoogte is het hoogteverschil tussen de top en het dal van de golf en de golfperiode het tijdsverschil tussen twee opeenvolgende golven.

Tabel 3-1: Relevante parameters

parameter	symbool	eenheid	omschrijving
significante golfhoogte	$H_s$	m	gemiddelde hoogte van het hoogste 1/3 deel van de (gemeten) golven
golfperiode	$T_p$	s	golfperiode (tijdsverschil tussen twee opeenvolgende golven) bij de top van het energiedichtheidspectrum
gemiddelde golfperiode	$T_m$	s	gemiddelde tijdsverschil
golfperiode	$T_{m-1,0}$	s	spectrale golfperiode op basis van de m-1 en m0 momenten van het golfspectrum
golflengte	L	m	de afstand tussen twee opeenvolgende golftoppen
golfrichting	$\beta$	graden	
soortelijke massa	$\rho$	kg/ m <sup>3</sup>	
relatieve dichtheid van materiaal	$\Delta$	-	soortelijk gewicht van de bekleding (onder water) ten opzichte van het soortelijk gewicht van water
laagdikte	D	m	laagdikte van de toplaag
stroomsnelheid	u	m/s	
taludhelling	$\alpha$	graden	
breker-parameter	$\xi$	-	verhouding tussen taludhelling, golfperiode en golfhoogte die aangeeft hoe een golf breekt op een talud
stormduur	t	uren	duur van een storm
aantal golven	N	-	aantal golven in een storm

Deze golven kunnen een belasting op de waterkering geven. Deze belasting kan op verschillende manieren vorm krijgen. Om een goed inzicht te krijgen in de belasting door golven en de mogelijke faalmechanismen van bekledingen wordt het volgende in deze paragraaf besproken:

- verschillende typen belastingen door golven;
- te onderscheiden belastingzones;
- overzicht traditionele bekledingen;
- overzicht faalmechanismen traditionele bekledingen door golfwerking.

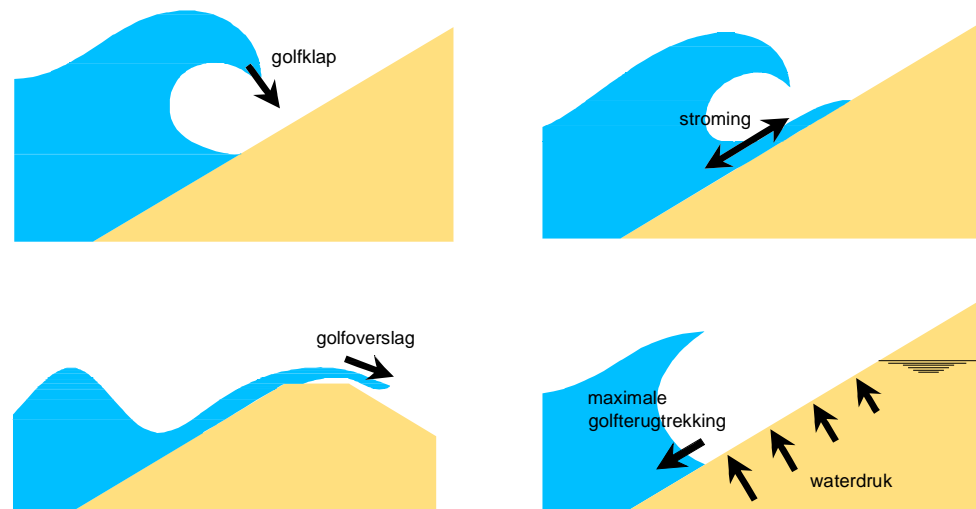
In Tabel 3-1 wordt een aantal relevante parameters gegeven die voornamelijk betrekking hebben op golven en stroming. Naast de golfhoogte en golfperiode is ook de duur van een storm, en daarmee de duur van de belasting, een belangrijke parameter. Voor een aantal bestaande bekledingen is bekend dat de duur van de belasting mede bepalend is voor de stabiliteit van de bekleding. Zware golfbelastingen komen met name voor bij zee- en meerdijken. In het bovenrivierengebied zijn de golven doorgaans klein.

### 3.1.1 *Belastingen door golven*

Bij golfbelasting op de bekleding wordt er het volgende onderscheid gemaakt (zie Figuur 3-2):

- golfklap: een golf die op een talud breekt veroorzaakt een golfklap;
- golfoploop en golfterugloop: op een talud zal de golf tegen het talud oplopen en weer teruglopen. Dit veroorzaakt een stroming op het talud;
- golfoverslag: een golf die bij een hoge waterstand leidt tot stroming over de kruin van de waterkering;
- stijghoogteverschil bij maximale golfterugtrekking: als bij golfterugloop de waterstand in de waterkering onder de bekleding niet direct volgt, zal er een stijghoogteverschil (drukverschil) over de bekleding ontstaan.

Er wordt onder andere in [21] inzicht gegeven in het ontstaan van windgolven en onder andere in [18] een beschrijving gegeven van de theoretische achtergronden van golfbelastingen.

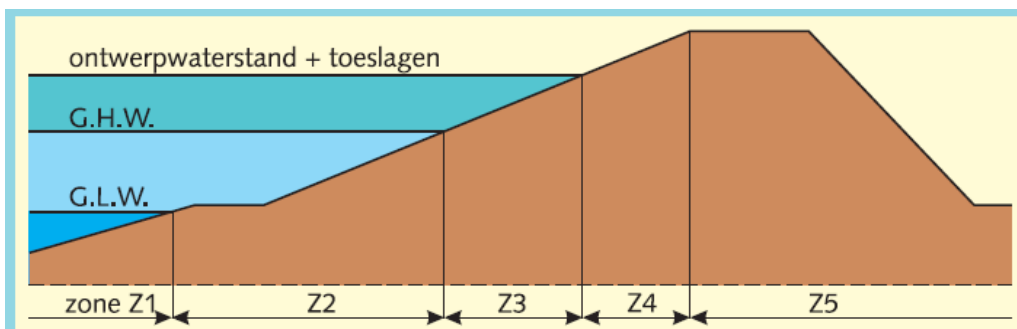


Figuur 3-2: Golfbelastingen op bekledingen

### 3.1.2 *Belastingzones onder golfaanval*

Een waterkering wordt niet overal gelijk belast. Er worden verschillende zones onderscheiden waar verschillende belastingen van toepassing zijn. Het type belasting is belangrijk voor het mogelijke faalmechanisme. In [5] en [11] worden voor zee- en estuariadijken bijvoorbeeld de volgende 5 belastingzones onderscheiden (zie Figuur 3-3):






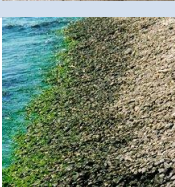

- zone Z1 bevindt zich voortdurend onder water. De belasting wordt voornamelijk veroorzaakt door golven en stromend water;
- zone Z2 bevindt zich tussen het gemiddeld laag- en gemiddeld hoogwater. De belasting wordt veroorzaakt door dagelijkse golfaanval en door stromend water. Bij een dalende waterstand kan er in geval van een dichte bekleding ook wateroverdruk onder de bekleding ontstaan;
- zone Z3 ligt tussen het gemiddeld hoogwater en de hoogste hoogwaterstand. De belasting wordt veroorzaakt door de grotere golven tijdens een storm. Onder dagelijkse omstandigheden wordt deze zone belast door golfoploop en golfterugloop. Ook in zone Z3 kunnen waterdrukken onder de bekleding optreden;
- zone Z4 ligt boven de hoogste hoogwaterstand. Deze zone wordt onder stormomstandigheden belast door stromend water van op- en neerlopende golven;
- zone Z5 bestaat uit de kruin en het binnentalud. De belasting wordt veroorzaakt door overslaand water. Deze zone kan ook belast worden door luchtdruk (zie §3.3.2).



Figuur 3-3: Belastingzones bij golfbelasting [5]

### 3.1.3 *Overzicht traditionele bekledingen onder golfaanval*

Hieronder is een overzicht gegeven van enkele veel toegepaste reeds bestaande bekledingen op waterkeringen onder golfaanval. Met een aantal van de traditionele bekledingen is veel ervaring. De sterkte en de faalmechanismen van deze bekledingen zijn over het algemeen bekend en voor een aantal bekledingstypen zijn er in de loop van de tijd reken- en toetsregels ontwikkeld om te kunnen ontwerpen en te toetsen (zie ook §3.8). Deze traditionele bekledingen kunnen dienen als voorbeeld voor de ontwikkelaar van innovatieve dijkbekledingen. Zo wordt duidelijk wat voor type bekledingen er zoal zijn en welke mechanismen belangrijk zijn bij de traditionele bekledingen. De ontwikkelaar kan een analogie zoeken met een traditionele bekleding en daardoor inzicht krijgen in de sterkte- en faalmechanismen die van belang zijn voor de innovatieve bekleding.

categorie	kenmerken	voorbeelden	kritieke parameters	belangrijkste faalmechanismen	
losgestorte elementen /materialen	los gestort geen cohesie interactie mogelijk eenvoudig aan te leggen	natuursteen betonnen kubussen interlock elementen	talud helling soortelijk gewicht steendiameter	stabiliteitsverlies: verplaatsing van stenen materiaaltransport	
flexibele natuurlijke aaneengesloten mat	versterking grond sterkte door natuurlijke groei	(versterkt) gras klei	sterkte vegetatie/ cohesie beheer dichtheid verbindingen (bijvoorbeeld begroeiingsdichtheid gras)	erosie vervorming	
verpakte bekledingen	verpakte kleinere elementen	geotextiele tubes schanskorven	sterkte verpakking gewicht	verplaatsing vulmateriaal vervorming bezwijken verpakking	
coherente materialen: gezette bekledingen en blokkenmatten	interactie met andere gelijke elementen nauwkeurig gezet relatief glad	zuilen blokkenmat interlockstenen	toplaagdikte samenhang onderlaag doorlatendheid gewicht	oplichten vervorming afschuiving opsluitingen/ overgangen materiaaltransport	
plaatbekledingen (open /dicht)	lengte en breedte >> dikte momenten + dwarskrachten inwendig verspreid	betonplaten	gewicht plaatdikte buigtreksterkte vermoeiingsweerstand stijfheid holten onder toplaag	oplichten breuk afschuiving	
monoliete bekleding (open)	aaneengesloten hydraulisch doorlatend	open steenasfalt zandasfalt	gewicht plaatdikte doorlatendheid buigtreksterkte vermoeiingsweerstand stijfheid holten onder toplaag	erosie vervorming opdrijven afschuiven	
monoliete bekleding (dicht)	aaneengesloten hydraulisch gesloten	waterbouw asfaltbeton	gewicht plaatdikte buigtreksterkte vermoeiingsweerstand stijfheid holten onder toplaag	erosie vervorming opdrijven afschuiven	

Tabel 3-2: Kenmerken en kritieke parameters per categorie

De volgende categorisering kan worden aangehouden voor traditionele bekledingen:

- losgestorte elementen/materialen;
- flexibele (natuurlijke) aaneengesloten matten;
- verpakte bekledingen;
- coherente materialen – gezette bekledingen en blokkenmatten;
- plaatbekledingen;
- monolieten bekledingen (open);
- monolieten bekledingen (dicht).

De kenmerken, voorbeelden en kritieke parameters zijn samengevat in Tabel 3-2. Een uitgebreidere beschrijving van de traditionele materialen is gegeven in bijlage I.

#### 3.1.4 *Overzicht faalmechanismen traditionele bekledingen onder golfaanval*

Door inzicht te geven in faalmechanismen van bestaande materialen kan in analogie inzicht worden verkregen in mogelijke faalmechanismen van innovatieve bekledingen. Deze paragraaf geeft de belangrijkste faalmechanismen weer maar geen volledig overzicht. Daarnaast is het mogelijk dat bij een innovatieve bekleding faalmechanismen voorkomen die zich bij traditionele bekledingen nooit voordoen en andersom. In Tabel 3.4 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste literatuur voor traditionele bekledingen.

Wanneer de sterkte van de bekleding onvoldoende is of als belastingen zeer extreem zijn, kan dat leiden tot falen of bezwijken van de waterkering. Er is sprake van falen als niet meer wordt voldaan aan de functionele criteria. Voor de bekleding betekent dit dat de primaire functie (de bekleding moet bescherming bieden aan het grondlichaam zodat deze haar functie kan vervullen) niet meer wordt vervuld. De bekleding dient voldoende sterk te zijn om de golfbelastingen te kunnen weerstaan.

De golfbelastingen omschreven in §3.1.1 kunnen bij onvoldoende sterkte van de bekleding leiden tot de volgende faalmechanismen:

1. toplaaginstabiliteit (§3.1.4.1):
  - a. steenzettingen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen;
  - b. losse elementen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen;
  - c. monoliete bekleding: bezwijken toplaag;
  - d. grasbekleding: erosie toplaag;
2. materiaaltransport onderliggend materiaal (§3.1.4.2);
3. afschuiving (§3.1.4.3);
4. overig.

Bovengenoemde faalmechanismen zijn hieronder verder uitgewerkt.

N.B.

Vervormingen kunnen ingecalculeerd zijn in het ontwerp, het hoeft niet altijd nadelig te zijn voor het functioneren. Dit geldt bijvoorbeeld bij duinen of in een dynamische stabiele stortsteenconstructie [31].

##### 3.1.4.1. *Toplaaginstabiliteit*

De toplaag van de dijkbekleding moet bestand zijn tegen hydraulische belasting. Het instabiel zijn of eroderen van de toplaag kan leiden tot verlies van toplaagmateriaal. Bij het verlies van het toplaagmateriaal kan de zwakkere onderlaag aan het oppervlak komen en wanneer deze onderlaag erodeert, is er sprake van falen van de bekleding. Per type bekleding verschillen de faalmechanismen. In deze paragraaf wordt de toplaaginstabiliteit van de volgende bekledingstypen behandeld:

- A. steenzettingen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen;



- B. losse elementen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen;
- C. monoliete bekleding: bezwijken toplaag;
- D. grasbekleding: erosie toplaag.

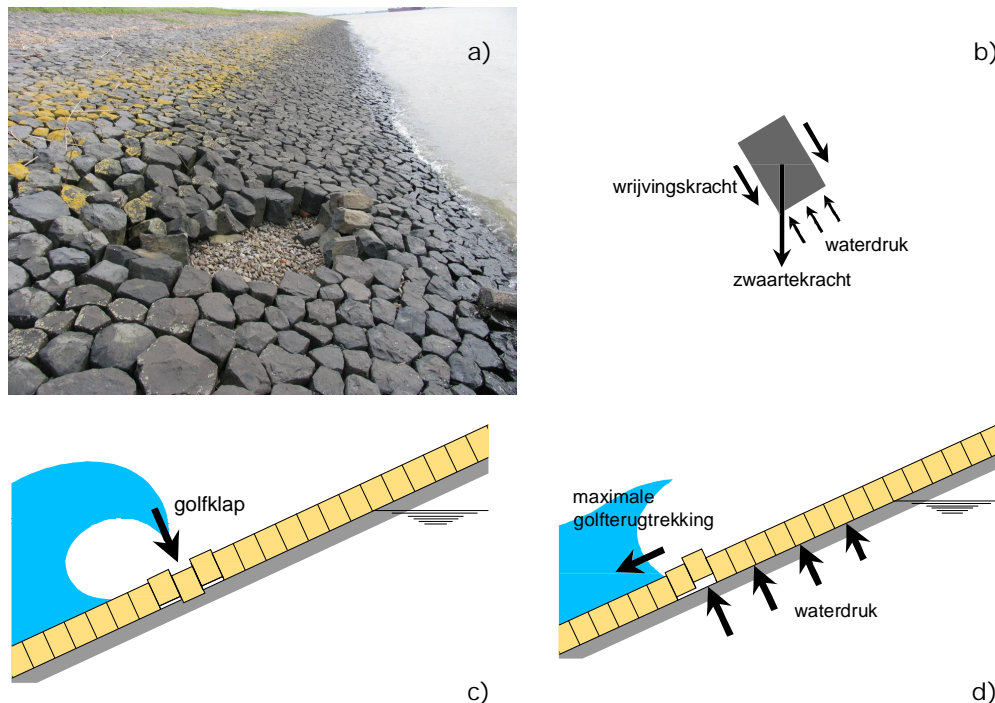
A. steenzettingen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen

De toplaagelementen in een steenzetting moeten in verband blijven om voldoende sterkte te kunnen leveren. Ieder toplaagelement haalt immers een gedeelte van de stabiliteit uit het verband met de omringende stenen. Als dit verband verbroken is, wordt er gesproken van falen van de toplaag [7].

Door golfbelasting ontstaat onder de toplaagelementen een opwaartse druk. Wanneer deze opwaartse druk groter is dan de neerwaartse druk door het gewicht van het element plus de kracht die het element uit het verband krijgt (bijvoorbeeld wrijvingskracht), kan het element uit de bekleding worden geduwd. Dit kan zich voordoen bij individuele elementen, maar meestal betreft het een veld van elementen. De opwaartse druk door golfbelasting kan op meerdere manieren optreden. De grootste kans op falen is bij een van de volgende situaties:

- opwaartse druk die ontstaat bij maximale golfterugtrekking;
- golfklap die zorgt voor piekwaarde in de waterdruk onder de toplaag. Dit resulteert in een piek in opwaartse kracht voor nabije stenen.

De belasting en stabiliserende krachten zijn te zien in Figuur 3-4. De doorlatendheid en dikte van de onderlaag en toplaag is zeer belangrijk omdat deze mede bepaalt hoe groot de drukopbouw onder de toplaag is. Het benodigde gewicht en dimensies van elk element zijn hier dus van afhankelijk.



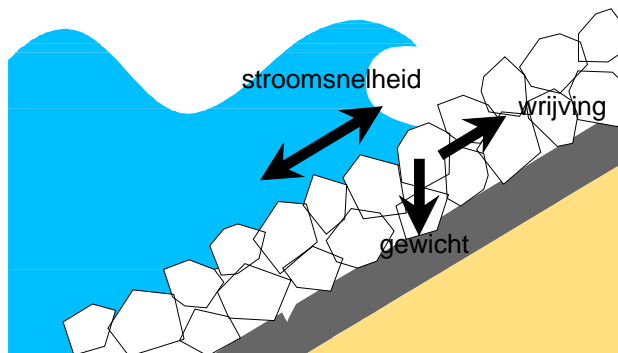
Figuur 3-4:

- a) mogelijke schade door toplaaginstabiliteit
- b) belasting en stabiliserende krachten op een gezette steen
- c) omhooggerichte waterdruk door golfklap
- d) opwaartse druk bij maximale terugtrekking

### B. Losse elementen: stabiliteitsverlies van toplaagelementen

De golf kan voor losse elementen gezien worden als een stroming die op en neer loopt op het talud en in combinatie met golfklappen een sleepkracht uitoefent op iedere individuele steen. De kracht op het element hangt dan voornamelijk af van het stromingsveld in een golf. Door de grote doorlatendheid bij losgestorte elementen op een ondoorlatende onderlaag ontstaat er geen/nauwelijks drukkracht onder de elementen door een stijghoogteverschil bij maximale golfsterugtrekking (zoals bij coherent materiaal).

De stabiliteit van ieder element wordt ontleend aan het gewicht van de steen en wrijving met omliggende stenen. Tevens is de vorm van de elementen van belang: ronde vormen gaan snel rollen terwijl andere vormen meer weerstand hebben en mogelijk kunnen inhaken bij de omringende elementen. Schade aan de toplaag ontstaat door een te zware golfklap of hoge stroomsnelheden in verhouding tot het gewicht van het element. Door de kracht die de golf uitoefent kunnen afzonderlijke elementen gaan rollen waardoor de overblijvende laag elementen plaatselijk dunner wordt. Wanneer er meerdere elementen op dezelfde plaats op het talud weggrollen, kan er een gat ontstaan in de toplaag. Men spreekt doorgaans van falen van de toplaag wanneer de laag onder de toplaag bloot komt te liggen. Dit faalmechanisme wordt voorkomen door de elementen zo te dimensioneren dat ze zwaar genoeg zijn om bij golfaanval stabiel te blijven. Op zich hoeft het geen probleem te zijn als individuele elementen bewegen of rollen. Een constructie kan er op ontworpen zijn dat elementen door rollen in een evenwichtsprofiel komen te liggen. Belangrijk is dat de overblijvende laagdikte voldoende is wanneer het evenwichtsprofiel gevormd is.



Figuur 3-5: Krachten op een los element

### C. Monoliete bekleding: bezwijken toplaag

De belasting door golven kan op meerdere manieren optreden, de grootste kans op falen is bij een van de volgende situaties:

- door de golfklap;
- door wateroverdruk die ontstaat bij maximale golfsterugtrekking.

#### *Golfklap bij monolieten bekleding*

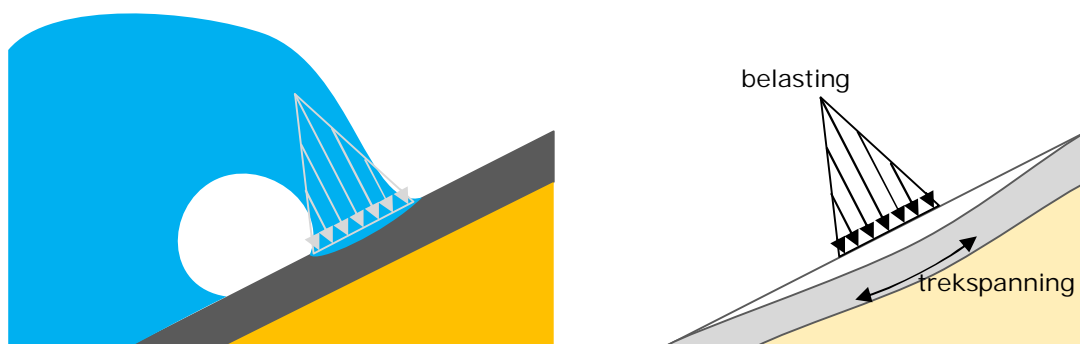
Een golf die op een talud breekt veroorzaakt een klap. De watermassa treft met grote snelheid de bekleding. Het veroorzaakt een piekbelasting die op een (beperkt) gedeelte werkt. Doordat deze kracht vrijwel loodrecht op de bekleding komt (zie Figuur 3-6) buigt de bekleding en ontstaan er trekspanningen onder in de bekleding. Wanneer deze trekspanningen groter zijn dan de bezwijkspanning zal de bekleding bezwijken. Veel materialen zijn hierbij vermoeiingsgevoelig: de bezwijkspanning neemt af met het aantal

malen dat de bekleding wordt belast. Op den duur kan hierdoor de bekleding alsnog bezwijken.

Bezwijken door dit mechanisme wordt voorkomen door voldoende sterkte en voldoende laagdikte van de bekleding.

#### *Oplichten door wateroverdruk*

Er kan bij monolieten bekledingen net als bij zetsteen een opwaartse druk ontstaan bij maximale golf terugtrekking. De waterdrukken onder een gesloten bekleding kunnen ontstaan bij maximale golf terugtrekking. Deze overdrukken zijn kortdurend en klein in vergelijking met wateroverdrukken ten gevolge van waterstandsverschillen (zie 3.3) en daarom hoeven monolieten bekledingen hier niet op te worden gedimensioneerd.



Figuur 3-6: Trekspanningen door een golfklap bij monolieten bekleding

#### D. Grasbekleding: erosie toplaag

De mechanismen die optreden bij gras zijn een combinatie van mechanismen zoals besproken voor monolieten en coherente bekledingen [3]:

- erosie door golfklap;
- erosie door golfoploop en neerloop.

Individuele gronddeeltjes worden door stromend water of door een golfklap weggeslagen als deze belasting groter is dan de kracht waarmee de deeltjes met elkaar verbonden zijn door de cohesie van de grond en het wortelnet van het gras. De kwaliteit van de grasmat (en daarmee de erosiebestendigheid) hangt onder andere af van het type grasmat en het beheer ervan, de aanloopfase gedurende de eerste vier jaar en de samenstelling van de ondergrond.

#### 3.1.4.2. *Materiaaltransport van onderliggend materiaal*

Naast de stabiliteit van de toplaag is het noodzakelijk dat uitspoeling van onderliggend materiaal door de toplaag wordt voorkomen. Afhankelijk van het type bestaat de bekleding uit een toplaag, verschillende soorten tussenlagen (bijvoorbeeld van granulair materiaal of geotextiel) en een onderlaag (doorgaans klei of zand). De tussenlaag dient doorgaans als filterlaag. Typische tussenlagen voor steenzettingen (zie Figuur 1-1) zijn een granulaire aanvulling (aanvullende stabiliteit tegen afschuiven) en een uitvullaag (ten behoeve van uitvullen van elementen).

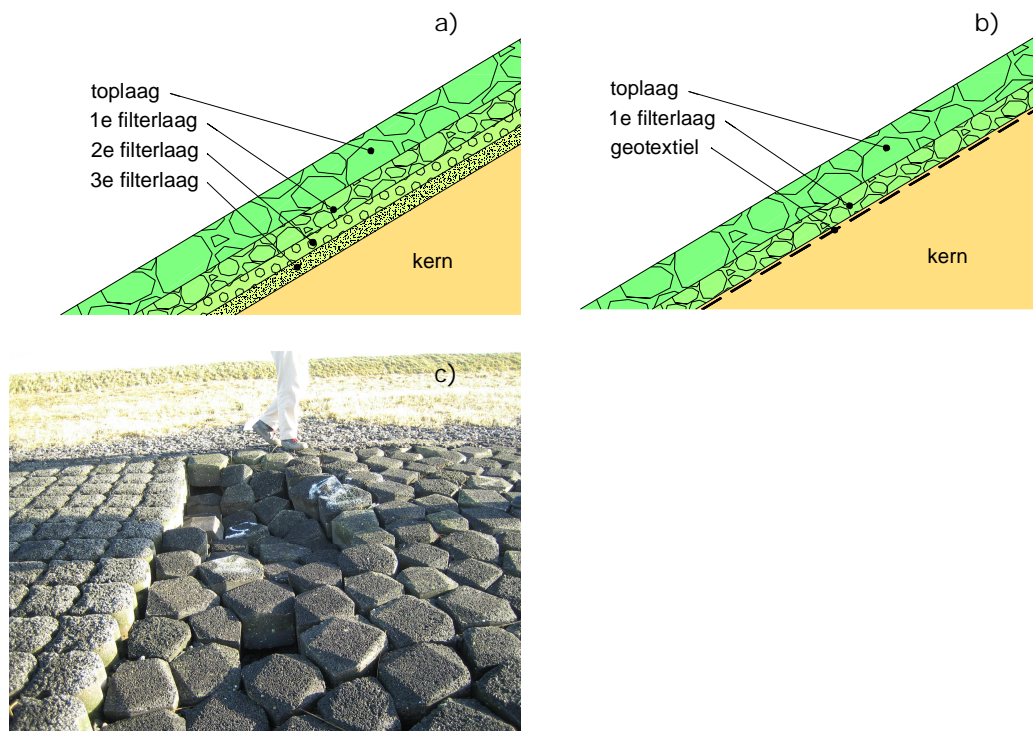
Een golfbeweging kan stroming in de laag onder de toplaag veroorzaken, het water stroomt dan evenwijdig aan het talud, zowel naar boven als naar beneden. Materiaaltransport door de toplaag kan veroorzaakt worden door uittredend water of door turbulent water dat over de toplaag stroomt. Het materiaal kan alleen uitspoelen wanneer de korrelgrootte van de

onderlaag kleiner is dan de openingsgrootte van de laag erboven. Het uitspoelproces zal doorgaans niet direct leiden tot falen. Doordat er holle ruimten ontstaan onder de toplaag, kan de bekleding op den duur verzakken waardoor de algehele sterkte van de bekleding afneemt (Figuur 3-7).

Bij monolieten bekledingen kunnen door uitspoeling (bij overgangen of schade) holtes onder de bekleding ontstaan. Door het ontstaan van deze holtes kunnen spanningen ontstaan. Deze spanningen zijn vergelijkbaar met de spanningen die ontstaan door de golfklap (zie Figuur 3-6). Deze spanningen kunnen ook ontstaan in het geval van zettingen van de ondergrond (zie 3.4).

Uitspoeling van de onderlaag/tussenlaag kan worden voorkomen door het plaatsen van een filterlaag. De korrelgroottes van opeenvolgende lagen moet zodanig zijn dat de ene laag niet in de andere migreert ten gevolge van waterstroming door de lagen. Hier zijn twee typen filterlagen te onderscheiden:

- geometrisch dichte filterlaag: de openingsgrootte van de bovenste laag is zodanig klein dat korrels uit de onderliggende laag er niet doorheen kunnen;
- geometrisch open filterlaag: de openingsgrootte van de bovenste laag is groter dan de korrels uit de onderliggende laag, maar door demping van belasting in de bovenliggende laag zijn de resterende krachten onvoldoende om het onderliggende materiaal uit te spoelen.



Figuur 3-7: Uitspoelen onderlaag:

- a) uitspoeling wordt voorkomen door meerdere filterlagen
- b) uitspoeling wordt voorkomen door geotextiel
- c) zakking door uitspoeling

In Figuur 3-7 is ter voorbeeld een principeddoorsnede van een stortsteenbekleding te zien. De buitenste laag dient bestand te zijn tegen golfaanval. Om te voorkomen dat de kern van

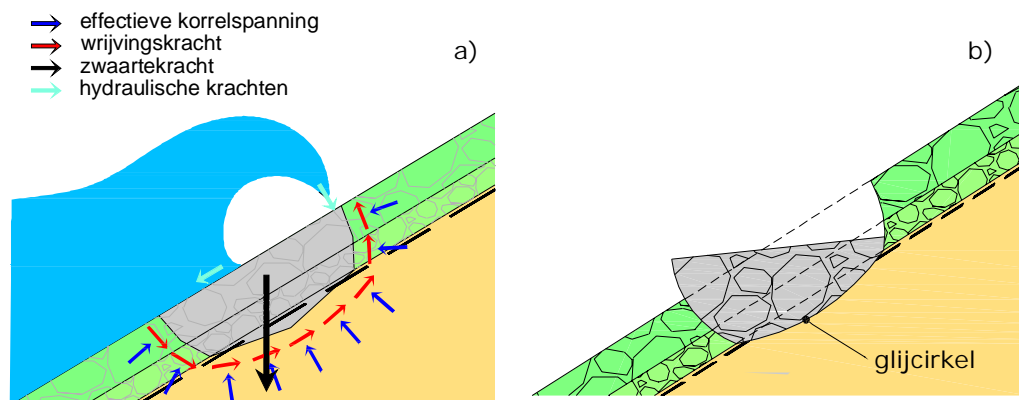
zand uitspoelt, kan er een aantal filterlagen geplaatst worden (Figuur 3-7a) [28]. Iedere filterlaag mag dan niet migreren door de bovenliggende laag. Doorgaans resulteert dit in een groot aantal lagen, daarom kan in plaats van een aantal lagen een geotextiel worden toegepast (Figuur 3-7b) [29]. Een geotextiel is doorgaans een synthetisch doek die waterdoorlatend is maar zodanig dicht dat de korrels van het onderliggende materiaal er niet doorheen kunnen migreren. Om te voorkomen dat de toplaag het (kwetsbare) geotextiel beschadigt, wordt doorgaans een filterlaag geplaatst tussen het geotextiel en de toplaag die puntbelastingen van de toplaag verspreidt.

### 3.1.4.3. Afschuiving

Er wordt onderscheid gemaakt tussen grootschalige en kleinschalige afschuiving. De eerste wordt macro-instabiliteit genoemd en betreft de stabiliteit van de gehele dijk. Vaak speelt ook een deel van het voorland of achterland een rol. In deze paragraaf wordt slechts de kleinschalige afschuiving beschreven, omdat die gerelateerd is aan de eigenschappen van de bekleding en de golfbelasting.

Er is sprake van afschuiving wanneer (een deel van) de bekleding verplaatst langs een glijvlak evenwijdig aan het talud. Een gedeelte van de bekleding kan verplaatsen door overschrijding van het evenwichtsdragvermogen. Het krachtenevenwicht van een bekleding is te zien in Figuur 3-8a. Op een willekeurige moot bekleding/grond is er de aandrijvende component ten gevolge van de zwaartekracht en een tegenwerkende component, de wrijvingskracht langs een glijcirkel. Golfbelasting kan een opwaartse druk veroorzaken (bijvoorbeeld bij maximale golf terugtrekking en een achterblijvende freatische lijn), de effectieve korrelspanning daalt en de wrijvingskracht wordt verkleind. Afschuiving treedt op wanneer de aandrijvende kracht groter is dan de tegenwerkende kracht (zie Figuur 3-8b).

De toplaag faalt door afschuiving als de bekleding (toplaag en onderlagen) onder golfaanval zodanig is vervormd door afschuiving over een glijvlak, dat de bekleding geen bescherming meer biedt tegen erosie van de onderlagen. Dit faalmechanisme kan onder andere worden voorkomen door bijvoorbeeld een minder steil talud toe te passen, een materiaal met een grotere coherentie toe te passen of een lichter materiaal te gebruiken.



Figuur 3-8: Afschuiving bekleding  
a) krachtenevenwicht  
b) schematische glijcirkel bij afschuiving

#### *Verweken en zettingsvloeiing*

Golfbelasting kan aanleiding vormen tot een herschikking van het korrelskelet van een zandmassa. Dit kan een volumeverkleining veroorzaken. Door deze (neiging tot) volumeverkleining ontstaan wateroverspanningen, waardoor de contactdruk tussen de korrels onderling wordt verminderd en de zandmassa zich als een zware vloeistof gaat gedragen (verweking). Deze verweking kan leiden tot zettingsvloeiing. Zettingsvloeiing is een mechanisme waarbij de zandmassa zich ook werkelijk verplaatst. Bijvoorbeeld verweking van de onderlagen kan een aanleiding zijn tot afschuiven van de bekleding.

Zettingsvloeiing en afschuiving is niet hetzelfde: zettingsvloeiing ontstaat door verweking/ een wateroverspanning. Afschuiven is het gevolg van een overschrijding van de schuifweerstand van de grond.

### 3.2 Stabiliteit van bekleding onder stroming

De bekleding moet bescherming bieden tegen belasting door stroming.

De bekleding op de waterkering kan belast worden door stroming. Deze kan het gevolg zijn van het getij, een schroefstraal of retourstroom van een schip, of de stroming in een rivier of kanaal. Het water kan tegen de waterkering aan stromen (golfoploop of golfneerloop), over (golfoverslag of overlopen), of langs de waterkering stromen. De belasting op de waterkering als gevolg van stroming van water is in de Nederlandse situatie normaal gesproken minder dan die van golven van enige decimeters hoogte. Stroming langs de waterkering is daarom in veel situaties niet maatgevend. Langsstroming is een mechanisme dat relevant kan zijn langs rivieren. Met name bij kunstwerken kan door stromingscontractie en verhoogde turbulentie de stroming een grotere rol spelen. Wat voor stroming bij de waterkering in rekening moet worden gebracht, is sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.

Om een goed inzicht te krijgen in de belasting door stroming en de mogelijke faalmechanismen wordt in deze paragraaf het volgende besproken:

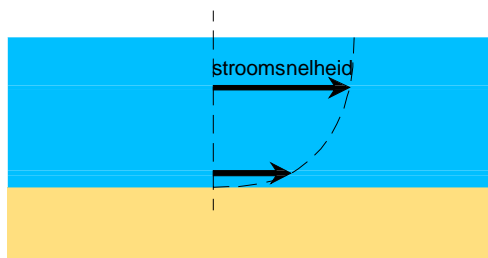
- belastingen door stroming;
- te onderscheiden belastingzones;
- traditionele bekledingen – faalmechanismen.

De stroming door golfoploop en -neerloop wordt niet in deze paragraaf behandeld (zie daarvoor de vorige paragraaf).

#### 3.2.1 *Belasting door stroming*

De belasting die de stroming op een bekleding geeft, is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste factoren zijn:

- Stroomsnelheid: hoe hoger de stroomsnelheid hoe groter de belasting;
- Snelheidsprofiel: in Figuur 3-9 is een snelheidsprofiel gegeven voor uniforme stroming, aan de bodem is de stroomsnelheid lager door de bodemwrijving. De belasting op de constructie wordt gegeven door de stroomsnelheid die werkelijk plaatsvindt bij de constructie;
- turbulentie: turbulentie in stroming kenmerkt zich door het wervelende karakter, de stroming loopt niet netjes gelaagd, maar verplaatst zich in wervels. De turbulentie is groter bij plotselinge verwijdingen, uitstekende elementen, ruwheid, et cetera. Hoe groter de turbulentie, des te groter de belasting op de waterkering.



Figuur 3-9: Uniform snelheidsprofiel

Uitgebreide informatie over de fysische achtergronden van stroming is te vinden in literatuur over vloeistofmechanica, bijvoorbeeld [24] en [25]. De belasting door stroming speelt een belangrijke rol bij rivierdijken. Voor zee- en meerdijken is deze belasting zelden maatgevend.

### 3.2.2 *Belastingzones onder stroming*

Bij langsstroming wordt het simpele onderscheid gemaakt tussen dat gedeelte van de waterkering dat zich bij de maatgevende waterstand onder water bevindt en wel belast wordt en het onbelaste gedeelte dat zich boven de maatgevende waterstand bevindt.

### 3.2.3 *Overzicht faalmechanismen traditionele bekledingen onder stroming*

De belasting van stroming speelt vaak een ondergeschikte rol ten opzichte van golfbelasting. Hierdoor is er een aantal materialen dat in het algemeen niet op stroming wordt gedimensioneerd/getoetst. Eén van deze materialen is asphalt. Dit wil echter niet zeggen dat er ook daadwerkelijk geen belasting door stroming is. Enkele voorbeelden van situaties op traditionele bekledingen op het buitentalud waarbij belasting door stroming een rol kan spelen zijn:

- toplaaginstabiliteit bij zetsteen;
- erosie van grasbekleding;
- erosie van los gestorte materialen;
- migratie door het filter.

Deze situaties worden in deze paragraaf verder toegelicht. De sterktefilosofie van de verschillende bekledingen is te vinden in 3.1.2. Deze drie situaties dienen ter voorbeeld om inzicht te geven tot welke faalmechanismen stroming kan leiden.

#### *Toplaaginstabiliteit bij steenzetting*

In uitzonderlijke gevallen is de belasting door stroming maatgevend ten opzichte van golven: als de stroomsnelheid hoog is ( $>2$  m/s [7]) of de turbulentie groot, en de golfhoogte relatief laag. Het belangrijkste faalmechanisme is hier dan falen door te hoge opwaartse druk, die vooral gerelateerd is aan turbulentie en stromingsdruk op onvermijdelijke oneffenheden in het bekledingsoppervlak.

#### *Erosie van losgestorte materialen*

Zoals besproken in 3.1.4 wordt voor losgestorte elementen de golfbelasting geschematiseerd als een stroming die op en neer loopt op het talud. De kracht op het element hangt dan voornamelijk af van het stromingsveld in een golf. Voor stroming werkt het mechanisme hetzelfde, het stromingsveld is echter geheel anders. De turbulentie is in het algemeen veel lager, de turbulentie in golven wordt immers voor een groot gedeelte



veroorzaakt door de golf die op het talud klapt. Daarnaast is bij langsstroming de oriëntatie van de helling anders. Dit maakt losgestorte stenen stabielier.

#### Migratie door het filter

Het kernmateriaal van de waterkering kan door langsstroming evenwijdig aan de stroomrichting migreren door een laag onder de toplaag (zie Figuur 3-7, bijvoorbeeld migratie door de eerste of tweede filterlaag). Hoewel dit niet hoeft te leiden tot materiaaltransport door de toplaag kan dit wel tot ernstige schade leiden doordat migratie van het kernmateriaal kan leiden tot (plaatselijke) verzakkingen.

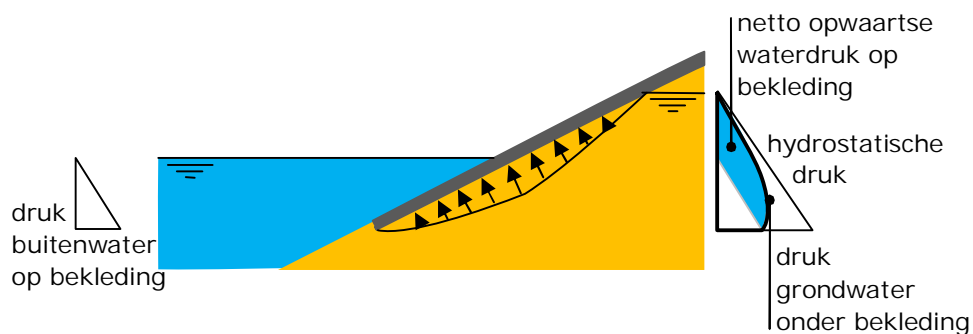
### 3.3 Stabiliteit van bekleding bij waterstandsverschillen

De bekleding moet bescherming bieden tegen belasting door waterstandsverschillen.

#### 3.3.1 *Belasting door wateroverdruk*

Wanneer de freatische lijn in het dijklichaam hoger ligt dan het waterpeil erbuiten, ontstaan overdrukken als de dijkbekleding geheel of gedeeltelijk gesloten is. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen wanneer de buitenwaterstand direct na het optreden van een hoogwater snel daalt. De zone die belast wordt, bevindt zich tussen het niveau van de (hoogste) grondwaterstand en de teen van de dichte bekleding. De belasting door wateroverdruk komen voor bij zee, meren en rivieren. Deze overdruk kan bijvoorbeeld de volgende mechanismen tot gevolg hebben:

- afschuiven bekleding (zie §3.1.4);
- opdrukken/uitdrukken bekledingselementen: wanneer de wateroverdruk onder de bekleding groter wordt dan de tegendruk die wordt geleverd door het gewicht (en/of cohesie) van de bekleding loodrecht op het talud, zullen elementen uitgedrukt worden of een monolieten bekleding opgedrukt. Dit laatste kan tot gevolg hebben dat de vergrote grondwaterstroming het kernmateriaal meevoert, door de extra ruimte die onder de bekleding ontstaat;
- concentratie grondwaterstroming: door waterstandsverschil binnen en buiten de bekleding kan bij de teen van de constructie zich een grondwaterstroming concentreren. Dit kan tot uitspoeling van grond leiden.



Figuur 3-10: Wateroverdruk



Een bekleding dient dan wel zo doorlatend te zijn dat wateroverdrukken niet ontstaan, dan wel voldoende tegenkracht kunnen bieden door gewicht of inklemming. Een beweging van de bekleding is toelaatbaar mits dit de functie van de bekleding of de waterkering niet beïnvloedt.

### 3.3.2 *Belasting door luchtdruk*

Als de kruin van een waterkering (volledig) lucht- en waterdicht is, inclusief de aansluitende bekledingen op het binnen- en buitentalud, kan belasting door luchtdruk optreden. De stijgende freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden kan ervoor zorgen dat er een luchtbel onder de kruin ingesloten raakt en door de waterdruk gecompriëerd wordt. De hiermee samenhangende opwaartse druk is zodanig groot dat de kruinbekleding kan openbarsten (zie [55]).

### 3.4 Constructie gerelateerde belastingen

De bekleding moet bescherming bieden tegen constructie gerelateerde belastingen.

De volgende constructie gerelateerde belastingen zijn te onderscheiden:

1. belastingen ten gevolge van horizontale en verticale vervormingen. Door bijvoorbeeld lokale zetting van de ondergrond (bij of direct na aanleg of door bijvoorbeeld onttrekkingen uit de ondergrond) en klink van het ophoogmateriaal kunnen vervormingen optreden die leiden tot een belasting op de bekleding;
2. het eigen gewicht van het dijklichaam (en daarmee ook het eigen gewicht van de bekleding).

#### Ad 1.

De bekleding dient voldoende flexibel en buigzaam te zijn. Het gaat hier om het vermogen van een bekleding om lokale vervormingen van de ondergrond te kunnen volgen waarbij de (sterkte-)eigenschappen van het materiaal intact blijven. Gras is bijvoorbeeld een materiaal dat gemakkelijk vervormingen kan volgen. De breukrek van een materiaal als beton is klein waardoor er bij vervormingen snel scheuren ontstaan.

#### Ad 2.

Het eigen gewicht van de bekleding zou bij kunnen dragen aan het aandrijvend moment in de analyse voor de macrostabiliteit.

### 3.5 Overige belastingen

Naast de hydraulische belastingen en de constructie gerelateerde belastingen zijn er andere invloeden en processen die zouden kunnen leiden tot falen en/of bezwijken van de bekleding. Deze worden onderverdeeld in 'overige belastingen' en 'bedreigingen'. Overige belastingen zijn belastingen die regelmatig of zelden optreden en waartegen een bekleding bestand dient te zijn. Bedreigingen zijn de belastingen waarvan de kans van voorkomen samen met zeldzaam hoge hydraulische belasting gering is en die daarom in het algemeen niet worden meegenomen in het ontwerp (§3.6). Belastingen die volgen uit secundaire functies worden hier niet genoemd. Deze belastingen worden behandeld in hoofdstuk 5.

De volgende 'overige belastingen' kunnen worden onderscheiden:

- wind: wind kan onder andere op de volgende manieren een bekleding/waterkering belasten:
  - een windbelasting kan via een boom of gebouw zorgen voor een horizontale belastingscomponent;

- erosie: bij kleine/lichte elementen, bijvoorbeeld zand, kan er winderosie optreden;
- door wind kan zand verstuiven/ophopen en bijvoorbeeld bij gras verstikking veroorzaken;
- biologische aantasting: aantasting of beschadiging door planten en dieren. Voorbeelden van deze belasting zijn:
  - (water-)planten die op, tussen en door de bekleding heen groeien (zie Figuur 3-11);
  - graverijen door dieren, bijvoorbeeld (muskus-)ratten die gangen en holen graven;
  - afstervende of afgestorven begroeiing;
- chemische aantasting (aantasting materialen door bijvoorbeeld oxidatie, zout, et cetera):
  - constructiematerialen kunnen door bijvoorbeeld oxidatie, zout water en door stoffen die in vervuild water voorkomen, worden aangetast. Een chemische aantasting zal vermoedelijk niet leiden tot bezwijken van de waterkering, maar kan wel de bekleding verzwakken. Bij onvoldoende sterkte van de bekleding kan de bekleding bezwijken door een van de andere genoemde belastingen/faalmechanismen;
- klimatologische aantasting: aantasting door droogte, uv-straling, koude en warmte. Enkele voorbeelden zijn:
  - opgesloten water zal door bevroering uitzetten en kan daardoor constructiematerialen aantasten;
  - door langdurige droogte kan een te dunne kleilaag op een talud zodanig uitdrogen dat een grasmat hier ernstige schade van ondervindt;
  - geotextielen kunnen worden aangetast door ultraviolette straling;
  - zonnebrand op basalt (een specifiek degradatiemechanisme onder bepaalde atmosferische condities). Er zijn testen ontwikkeld om te bepalen hoe vatbaar basalt is voor dit mechanisme;



Figuur 3-11: Biologische aantasting, klimatologische aantasting, stripping (boven, vlnr) ijsbelasting, schematisch weergegeven ijsbelasting (onder, vlnr)

- ijsbelasting:
  - water bedekt met ijs kan een belasting geven op de waterkering en de bekleding. Bewegend ijs (door bijvoorbeeld wind) wordt tegen de bekleding geduwd en geeft daardoor een impact op de bekleding. Ijsplaten kunnen over elkaar heen schuiven en kunnen dan ook over de bekleding schuiven. Vooral bij een ruw oppervlak krijgen deze ijsplaten grip op de bekleding en kan het bewegende ijs de bekleding meetrekken. De gevolgen van belasting door ijs moeten zoveel mogelijk worden beperkt. Dit kan bijvoorbeeld door een glad oppervlak, een flauwe taludhelling of een berm toe te passen;
- onderhoudsmaterieel/verkeer:
  - de waterkering zal geïnspecteerd worden en eventueel zal de bekleding onderhouden moeten worden. Inspectie- en onderhoudsvoertuigen kunnen hierdoor de bekleding belasten;
- drijvende voorwerpen:
  - drijvend vuil en wrakhout kunnen schade veroorzaken of een eroderende werking hebben doordat ze (herhaaldelijk) op een bekleding botsen. Doorgaans hebben drijvend vuil en wrakhout weinig massa en is de belasting klein;
- interactie bekleding met andere materialen en dijklichaam: de interactie van de bekleding met andere materialen in de bekleding of het dijklichaam kan leiden tot belastingen op zowel de bekleding als op de andere materialen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:
  - verstopping: een doorlatende bekleding kan verstopt raken doordat fijne deeltjes vast gaan zitten in de openingen. Het gevolg hiervan kan zijn dat de bekleding ondoorlatend wordt, waardoor mogelijk de waterdruk onder de bekleding groter wordt;
  - vermenging: vermenging van de bekleding met andere materialen kan de kwaliteit/sterkte van de bekleding verminderen;
  - chemische aantasting: een innovatieve bekleding kan mogelijk bestaan uit meerdere (chemische) componenten die een effect hebben op het milieu. In hoofdstuk 4 worden daarom de milieuhygiënische aspecten van een bekleding besproken. De componenten kunnen echter ook een negatieve invloed hebben op andere materialen in de bekleding of het dijklichaam. Dit kan leiden tot verzwakking.



Figuur 3-12: Aanvaring (links boven), kabels en leidingen (links onder) en aardbeving (rechts)

### 3.6

#### Bedreigingen

Dit zijn de belastingen waarvan de kans van voorkomen samen met zeldzaam zware hydraulische belasting gering is en daarom in het algemeen niet worden meegenomen in het ontwerp. Een aantal belastingen (bijvoorbeeld ten gevolge van bodemonderzoek, onttrekkingen uit de ondergrond) zijn te voorspellen en maatregelen kunnen daarom vooraf genomen worden:

- aanvaringen: een uit koers geraakt schip kan in botsing komen met de waterkering. De kracht waarmee het schip de waterkering treft, kan groot zijn en voor veel schade aan de waterkering zorgen;
- bodemonderzoek: grondboringen en sonderingen in een waterkering kunnen de waterkering plaatselijk verzwakken;
- aardbevingen: de versnelling ten gevolge van een aardebeving kan een belasting vormen op de waterkering. Met name de macro(in)stabiliteit vormt hier een bedreiging. In seismisch actief gebied wordt doorgaans wel rekening gehouden met schokken, in Nederland is de kans op schokken die schade geven klein [36];
- kabels en leidingen: kabels en leidingen kunnen onder andere op de volgende manieren een bedreiging vormen:
  - doordat bij kruising met een waterkering een leiding of mantelbuis als sifon fungeert;
  - een lekke leiding kan uitspoeling tot gevolg hebben;
  - een gasleiding kan exploderen;

De eisen die bij kabels en leidingen in de nabijheid van een waterkering worden gesteld zijn opgenomen in [26];

- onttrekkingen uit de ondergrond: onttrekkingen in de nabijheid kunnen vervormingen (horizontaal dan wel verticaal) tot gevolg hebben.

### 3.7

#### Synthese

Een overzicht van de belangrijkste belastingen en (faal-)mechanismen die in dit hoofdstuk zijn genoemd zijn te vinden in Tabel 3-3.

N.B.

Hierbij wordt nogmaals benadrukt dat alleen de belangrijkste mechanismen zijn genoemd die bekend zijn. Bij innovatieve bekledingen is het mogelijk dat er andere mechanismen optreden die bij traditionele bekledingen zelden of niet voorkomen. Er dient daarom altijd onderzocht te worden of er andere (misschien nog wel nooit eerder voorgekomen) mechanismen aan de orde zijn.

Tabel 3-3: Overzicht belastingen en faalmechanismen

Belasting	belangrijkste mechanismen	eis aan bekleding
hydraulische belasting	toplaag instabiliteit uitspoelen onderlaag afschuiving	bekleding moet voldoende sterk zijn om hydraulische belasting te kunnen weerstaan
chemische aantasting	aantasting sterkte	mag sterkte niet onder vereiste niveau brengen
klimatologische aantasting	aantasting sterkte	mag sterkte niet onder vereiste niveau brengen
vervormingen	breuk/schade wanneer bekleding vervorming niet kan volgen	bekleding moet flexibel genoeg zijn om verwachte vervormingen te kunnen volgen
eigen gewicht	afschuiving	eigen gewicht mag geen afschuiving veroorzaken
wind	erosie bij kleine/lichte elementen verstikking natuurlijke begroeiing	mag sterkte niet onder vereiste niveau brengen
biologische aantasting	aantasting sterkte	mag sterkte niet onder vereiste niveau brengen
ijsbelasting	beschadiging bekleding	beperken gevolgen van ijsbelasting
belasting door drijvende voorwerpen	beschadiging bekleding	bekleding moet voldoende sterk zijn om belasting door drijvende voorwerpen te kunnen weerstaan

### 3.8 Aantoonbaarheid

De bekleding moet aantoonbaar bestand zijn tegen de optredende belastingen.

De bekleding moet bescherming bieden aan de waterkering, zodat deze haar functie kan vervullen. De ontwikkelaar moet aantonen dat de bekleding bestand is tegen de belastingen voor de beoogde levensduur en een methode geven waarmee de sterkte iedere zes jaar kan worden getoetst. Het doel van deze paragraaf is om inzicht te verkrijgen in hoe de stabiliteit van een bekleding kan worden aangetoond. Hiertoe worden in deze paragraaf de volgende onderwerpen behandeld:

- doel aantoonbaarheid: toetsing en ontwerp;
- de opgave van aantoonbaarheid;
- verantwoordelijkheid voor aantoonbaarheid;
- methoden om sterkte aan te tonen.

#### 3.8.1 Aanleiding aantoonbaarheid: toetsing en ontwerp

De stabiliteit van de bekleding moet aantoonbaar zijn voor:

- de toetsing;
- het ontwerp.

### Wettelijke toetsing

De Waterwet schrijft voor dat de primaire waterkeringen elke toetsperiode<sup>2</sup> worden getoetst aan de in de wet opgenomen veiligheidsnorm. Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (hierna kortweg VTV) bevat regels volgens welke de toetsing uitgevoerd dient te worden. Het toetsen op veiligheid zoals voorgeschreven in het VTV is het beoordelen van de stabiliteit van de waterkering bij de belastingen die bij de norm horen. Om de waterkering te kunnen toetsen is het daarom belangrijk om te weten: a) de belasting op de waterkering en b) de sterkte van de waterkering.

#### A. Belasting op de waterkering

Onder andere in [5] en [9] wordt aangegeven waaruit de hydraulische belastingen bestaan en hoe deze worden opgebouwd. Voor het bepalen van de hydraulische belasting staan de zogenaamde hydraulische randvoorwaarden centraal. De hydraulische randvoorwaarden [14] geven een overzicht van de waterstandsverlopen in verschillende watersystemen en van toetspeilen, rekenpeilen en golfrandvoorwaarden. Deze randvoorwaarden worden op basis van artikel 2.3 van de Waterwet iedere toetsperiode vastgesteld. Deze randvoorwaarden worden gebruikt voor toetsing van de waterkeringen.

#### B. Sterkte van de waterkering

De sterkte van de bekleding bepaalt (voor een deel) de sterkte van de waterkering. Om de sterkte van de waterkering aan te kunnen tonen, dient daarvoor dus onder meer de sterkte van de bekleding bekend te zijn.

Voor traditionele materialen zijn toetsregels ontwikkeld waarmee bepaald kan worden of de sterkte van de bekleding voldoet bij een bepaalde belasting. Deze toetsregels verschillen per materiaal: door ervaring en testen is gebleken voor welke faalmechanismen een specifiek materiaal beoordeeld dient te worden.

Toetsregels voor in Nederland veel voorkomende bekledingen (grasbekledingen, gezette bekledingen en asfaltbekledingen) zijn opgenomen in het VTV. Voor overige bekledingen wordt in het VTV verwezen naar meer specialistische literatuur. De toetsregels voor een innovatieve dijkbekleding dienen beschikbaar te zijn voor dijkbeheerders bij de periodieke toetsing.

### Ontwerp

Op basis van ontwerpcondities bepaalt de ontwerper de benodigde sterkte van de bekleding. Net als bij de toetsing wordt hier dus het sterkte-belasting concept gevolgd. Er is echter een aantal verschillen:

- bij toetsen wordt beoordeeld of de bescherming tegen overstroming tot de eerst volgende peildatum voldoende gewaarborgd is. De tijdshorizon die daarbij wordt gehanteerd is maximaal 12 jaar. Bij het ontwerp wordt er gewerkt met een langere tijdshorizon, omdat normaliter een constructie wordt gebouwd die een aantal decennia in stand blijft. Dit wordt de planperiode genoemd. Over het algemeen wordt een planperiode van 50 à 100 jaar gehanteerd. Andere planperioden zijn echter mogelijk (zie hoofdstuk 6, aspecten);
- voor ontwerpen zijn de hydraulische randvoorwaarden zoals gebruikt voor toetsing niet geschikt. De ontwerper dient rekening te houden met klimaatverandering en

---

<sup>2</sup> Per 1-1-2014 treedt een wijziging van de Waterwet (Doelmatigheid en bekostiging hoogwaterbescherming) in werking.

- bodemdaling gedurende de planperiode en de invloed daarvan op de belastingen. Hiervoor worden ontwerprandvoorwaarden opgesteld en gebruikt;
- bij het ontwerp is nog niet precies bekend hoe sterk de waterkering in de praktijk zal zijn. Daarom wordt in het ontwerp gerekend met een onzekerheidsmarge voor de sterkte. Het ontwerp moet onder andere berekend zijn op zetting en klink gedurende de planperiode. Ook moet rekening worden gehouden met toleranties in de uitvoering. Dit kan leiden tot verschillen tussen het ontwerp en de realisatie. Bij toetsen wordt de bescherming tegen overstromen beoordeeld aan de hand van de gegeven situatie.

Hoewel er verschillen zijn tussen toetsing en ontwerp tonen toets- en ontwerpregels (rekenregels) veel overeenkomsten. Ze dienen immers beiden de sterkte voor een gegeven belasting aan te tonen. Echter bij toetsen is relatief veel bekend en zijn er relatief weinig onzekerheden waardoor er 'scherp' met de regels en randvoorwaarden omgegaan kan worden. Bij ontwerpen zijn de onzekerheden relatief groter, waardoor er in de randvoorwaarden en karakterisering van de constructie enige reserve moet zitten om te komen tot een goed ontwerp dat 50 tot 100 jaar mee kan.

### 3.8.2 *De opgave van aantoonbaarheid*

De bekleding dient normaal gesproken ontworpen/getoetst te worden voor extreme belastingen. Voor primaire keringen zijn dit hydraulische belastingen die eens in de 1.250 tot eens in de 10.000 jaar voorkomen, afhankelijk van de locatie. Daarnaast dient er bekend te zijn hoe de bekleding reageert op bijvoorbeeld biologische/klimatologische of chemische belasting.

Om te kunnen ontwerpen dan wel te toetsen, dienen er rekenregels te worden ontwikkeld waarmee de relatie tussen de sterkte van de bekleding en de belasting kan worden bepaald. Om de toetsregels dan wel ontwerpregels op te kunnen stellen, moet eerst de sterkte van de bekleding bekend zijn. Met de rekenmethode kan dan worden bepaald bij welke dimensies de bekleding bestand is tegen de ontwerp-/toetsbelasting.

Voor het opstellen van toetsregels moet aangesloten worden op de systematiek van het VTV [8]. In het VTV wordt de toetsing stapsgewijs uitgevoerd beginnende met een eenvoudige toetsing, met vervolgens een gedetailleerde toetsing en indien nodig een geavanceerde toetsing. Met de tekst en schema's in het VTV is een volstrekt eenduidig voorschrift nagestreefd. De eenvoudige toetsing wordt doorgaans in het VTV opgenomen en is bedoeld om met betrekkelijk weinig gegevens van de constructie de evident veilige constructies een toetsresultaat 'goed' te geven en de evident onveilige constructies een toetsresultaat 'onvoldoende'. Een onderdeel van de eenvoudige toetsing is doorgaans een visuele inspectie gericht op een aantal specifieke aspecten van de constructie, met criteria voor het geven van een 'onvoldoende'. Voor de constructies waarvoor in de eenvoudige toetsing geen oordeel kan worden gegeven, is er een gedetailleerde toetsing. Voor de gedetailleerde toetsing is veel meer informatie noodzakelijk over de constructie en zijn de benodigde berekeningen gecompliceerder. Doorgaans is de gedetailleerde toetsing opgenomen in een ENW/TAW Technisch Rapport of verslag met gelijksoortige status, en veelal is er een rekenmodel beschikbaar ten behoeve van de toetsing.

De ontwikkelaar moet in ieder geval een voorstel voor de gedetailleerde toetsing opstellen en indien mogelijk ook een voorstel voor de eenvoudige toets met een aantal handvatten voor de geavanceerde toetsing. De gedetailleerde toets kan doorgaans afgeleid worden van de rekenmethode voor het ontwerp. Er zal echter ook specifiek ingegaan moeten worden op aspecten van de bekleding die onderhevig zijn aan veroudering of in de loop der jaren kunnen leiden tot een verminderde sterkte. Juist die eigenschappen moeten tijdens elke

toetsing opgemeten worden om de actuele sterkte te kunnen vaststellen. Met de toetsmethode moet in principe het moment kunnen worden vastgesteld waarop de bekleding aan het eind van zijn levensduur is gekomen. De ontwikkelaar dient dus rekening te houden met de meetbaarheid van een aantal specifieke eigenschappen.

### 3.8.3 *Verantwoordelijkheid voor aantoonbaarheid*

De dijkbeheerder is verantwoordelijk voor de waterkering die hij onder zijn hoede heeft. Hij draagt zorg voor zowel de aanleg als het onderhoud van de waterkering en is daarmee tevens verantwoordelijk voor de bekleding die de waterkering dient te beschermen. Daarnaast is de dijkbeheerder verantwoordelijk voor het uitvoeren van de periodieke toetsing waarbij bepaald wordt of de waterkering voldoet aan de wettelijke norm (zie §6.3).

Omdat de dijkbeheerder verantwoordelijk is voor de waterkering is hij diegene die bepaalt welke (innovatieve) bekleding op zijn waterkering wordt toegepast. De dijkbeheerder zal alleen een bekleding toepassen waarvan hij zeker weet dat deze sterk genoeg is om de belastingen te weerstaan en waarvan hij deze sterkte ook aan kan tonen tijdens de wettelijke periodieke toetsing. De ontwikkelaar dient daarom op overtuigende wijze aantoonbaar te maken dat de bekleding voldoende sterk is en een methode te geven waarmee de sterkte getoetst kan worden. Om de dijkbeheerder te overtuigen dient de opgestelde ontwerpmethode/toetsmethode voldoende onderbouwd te zijn. Deze onderbouwing kan bijvoorbeeld door modelproeven, proefvakken, advies van een onafhankelijk bureau of door referentieprojecten. De dijkbeheerder beoordeelt of de aangeleverde toets/ontwerpmethode voldoende is om zijn taken uit te kunnen voeren en of de methode voldoende betrouwbaar is (dat wil zeggen, voldoende onderbouwd).

Het beoordelen of een toets/ontwerpmethode voldoende is, is niet eenvoudig. Voor het beoordelen van een (innovatieve) dijkbekleding kan de ontwikkelaar daarom altijd advies inwinnen van externe deskundigen.

De ontwikkelaar zal de ontwerpmethode/toetsmethode vastleggen in een ontwerphandleiding. Verder zal hij ergens moeten omschrijven hoe de kwaliteit van het product gewaarborgd is tijdens de uitvoering. Daarbij dient ingegaan te worden op alle aspecten die de kwaliteit kunnen beïnvloeden, zoals de weersomstandigheden, snelheid van aanbrengen en menselverhoudingen. Daarnaast zal de ontwikkelaar de randvoorwaarden moeten opstellen voor het realiseren van een kwalitatief goed product die aansluit op de ontwikkelde ontwerpmethoden/toetsmethoden. Dit kan bijvoorbeeld de mengverhouding zijn of een minimale laagdikte. De aannemer is vervolgens verantwoordelijk voor het realiseren van het product binnen de opgelegde randvoorwaarden. Het door de ontwikkelaar op te stellen kwaliteitsdocument zal voldoende aanknopingspunten moeten hebben die later opgenomen kunnen worden in een contract met de uitvoerende partij.

Voor de aantoonbaarheid is het van belang om te weten wat de grenswaarden zijn waarop een bekleding wordt goed- dan wel wordt afgekeurd en de marge waarbinnen de keuring plaats vindt. Hiervoor dient de ontwikkelaar de zogenaamde afkeurgrenzen aan te geven in een handleiding. De aannemer kan dit document gebruiken en het kan tevens dienen als referentie bij de opleveringskeuring.

### 3.8.4 *Methoden om sterkte aan te tonen*

Er zijn verschillende sporen die leiden tot de gewenste aantoonbaarheid van sterkte. In deze paragraaf wordt ingegaan op de volgende mogelijkheden om de sterkte aan te tonen:

- vergelijking met bestaande systemen;



- modelonderzoek;
- proefvakken aanleggen;
- langs theoretische weg een rekenmethode afleiden;
- numerieke modellen.

#### Vergelijking met bestaande systemen

Voor veel bestaande bekledingstypen zijn reeds ontwerp- en toetsregels ontwikkeld. Door de innovatieve bekleding in te delen in een van de categorieën (zie §3.1) kan gebruik gemaakt worden van bestaande modellen voor deze categorie. Ook kan getracht worden een analogie te maken met een specifiek materiaal. Bij een analogie gelden dezelfde faalmechanismen en daarom kunnen de voor het analoge systeem ontwikkelde formules en modellen worden toegepast. Een nieuw materiaal zal echter nooit 100% gelijk zijn aan een bestaand materiaal. Daarom zal altijd het volgende onderzocht moeten worden:

- in hoeverre valt het materiaal binnen de reikwijdte van de rekenregel/model;
- worden alle faalmechanismen bekeken;
- welke parameters verschillen met het reeds bestaande materiaal.

De parameters die verschillen met het bestaande materiaal moeten worden geïdentificeerd en gekwantificeerd. Dit kan wellicht door enkele simpele testen, maar voor een aantal parameters is (schaal-)modelonderzoek vereist.

In Tabel 3-4 wordt verwezen naar literatuur en ontwikkelde sterktemodellen voor bestaande materialen. Deze zijn over het algemeen toepasbaar/ontwikkeld voor één of enkele bekledingstypen. Een innovatieve bekleding zal doorgaans buiten het toepassingsgebied vallen. De bestaande literatuur en sterktemodellen dienen dan ook als voorbeeld.

#### (Schaal-)modelonderzoek en testen

Een schaalmodel is een kleine (of grote) kopie van het werkelijke object. De maatgevende verhoudingen blijven daarbij zoveel mogelijk hetzelfde. De werkelijke situatie (belasting en sterkte) wordt daarbij zo goed mogelijk nagebootst. Schaalmodelonderzoek heeft de volgende doelen:

- inzicht in mogelijke (complexe) faalmechanismen;
- vaststellen van karakteristieke parameters waaruit de werkelijke sterkte van een materiaal blijkt;
- verificatie van theoretisch bepaalde parameters of formules.

Er kan een model worden gemaakt van een gehele waterkering, maar het is ook mogelijk een model van één onderdeel van een bekleding of waterkering te maken. Bij een model van de gehele kering wordt gekeken naar meerdere faalmechanismen en bij een onderdeel wordt doorgaans een bepaalde parameter bepaald of wordt de sterkte ten aanzien van een specifiek faalmechanisme onderzocht. Bij dit laatste hoort ook een aantal standaardmateriaaltesten, bijvoorbeeld het bepalen van het gewicht en de doorlatendheid van een materiaal.

Bij schaalmodelonderzoek dienen de schaalregels voor de relevante mechanismen in acht te worden genomen.

Bij een schaalmodel kunnen andere fysische processen en faalmechanismen een rol spelen dan in de werkelijkheid. Daarom is inzicht in de fysische processen bij schaalmodelonderzoek belangrijk. Het moet duidelijk zijn welke faalmechanismen worden onderzocht en welke parameters worden bepaald. Onverwachte faalmechanismen kunnen bijvoorbeeld ontstaan door randverschijnselen van het model. Omgekeerd kunnen ook in de werkelijkheid andere

fysische processen een rol gaan spelen die in het schaalmodel niet worden waargenomen. Het is daarom belangrijk om voorzichtig om te gaan met extrapolatie van onderzoeksresultaten. Met name bij het extrapoleren naar beduidend grotere golfhoogtes/stroomsnelheden. Deze problematiek kan ertoe leiden dat een ontwerpmethodede slechts geaccepteerd wordt tot een bepaalde golfhoogte of stroomsnelheid. Dit beperkt dan tevens het toepassingsgebied van het bekledingsysteem.

Tabel 3-4: Overzicht literatuur en modellen

type bekleding	literatuur	modellen
steen-zetting	- Handreiking Dijkbekledingen: Deel Steenzettingen [66]	- Steentoets [35]
asfalt/ plaatbekledingen	- Handreiking Dijkbekledingen: Deel Asfaltbekledingen [67] - Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers [6]	- Golfklap [37]
grasbekledingen	- Handreiking Dijkbekledingen: Deel Grasbekledingen [69] - Technisch Rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding [3] - Technisch Rapport Grasmatt als dijkbekleding [4]	- Grastoets [32]
losgestorte materialen	- Handreiking Dijkbekledingen: Deel Breuksteenbekledingen [68] - Rock manual [20] – uitgebreid handboek voor ontwerp van steenconstructies - Bed Bank and shore protection: studieboek over de basisbeginselen van voornamelijk stortsteen [38] - Breakwaters and closure dams [39]: studieboek over het ontwerp van golfbrekers	- Cress [33] - Breakwat [34]
allerlei	- Dikes and revetments [18], boek welke veelal de praktische ontwerpproblemen behandelt voor bekledingen - Coastal Engineering Manual [27], handboek van het Amerikaanse leger waarin een aantal type bekledingen worden behandeld - Filters in de waterbouw [28] - Geotextielen in de waterbouw [29] - Natuurvriendelijke oevers (belasting en sterkte) [17] belicht hydraulische belasting en sterkte van verschillende bekledingen	

De sterkte van het model kan worden bepaald door de belasting langzaam op te voeren totdat het model faalt. Door meerdere van deze testen (verschillende dimensies van het materiaal, verschillende belastingen) uit te voeren kan een rekenregel worden ontwikkeld.

In een schaalmodel zijn er altijd randverschijnselen en bovendien kunnen nevenprocessen een grotere of een kleinere rol gaan spelen. Hierdoor zal het schaalmodel in het algemeen een kleine dan wel grote over- of onderschatting geven. Het dient duidelijk te zijn hoe groot

deze misschatting is. Een misschatting kan vervolgens worden verwaarloosd of worden verdisconteerd. Voor sommige materialen is schalen echter in het geheel niet mogelijk: gelijmde materialen zijn bijvoorbeeld moeilijk te schalen; de lijm houdt doorgaans haar sterkte bij schaling en het model is dan relatief veel sterker. Ook grasbekleding kan bijvoorbeeld niet geschaald worden. Voor deze materialen kunnen dan wel testen gedaan worden, maar die moeten dan worden uitgevoerd op (ongeveer) ware grootte. Dit geldt ook voor materialen waarvoor conflicterende schaalregels gelden die leiden tot schaalearselen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij steenzettingen.



Figuur 3-13: Schaalmodelonderzoek: betonnen elementen (links) en breuksteen (rechts)

Een voorbeeld van schaalmodelonderzoek is te zien in Figuur 3-13. In het modelonderzoek op de foto's wordt de stabiliteit van een bekleding bepaald in een tweedimensionale golfgoot. Door de golfhoogte stapsgewijs op te voeren, wordt bepaald bij welke golfbelasting de constructie bezwijkt. Op basis van de resultaten van verschillende proeven (verschil in onderlaag, plaatsingsdichtheid, helling, et cetera) kan een formule worden ontwikkeld. Meer informatie over schaling en modelonderzoek kan onder andere gevonden worden in [22]. Een uitgebreider voorbeeld van een schaalmodelonderzoek is gegeven in bijlage V.



Figuur 3-14: Proefvak

### Proefvakken aanleggen

Het testen of bewijzen van sterkte van een nieuwe bekleding kan gedaan worden met behulp van een proefvak. Een relatief klein gedeelte van een waterkering wordt bekleed met een prototype van de bekleding. Dit proefvak wordt dan belast door de belastingen die optreden in dit proefvak. Wanneer de bekleding niet faalt, is vastgesteld dat de bekleding ten minste deze belastingen aan kan. In het algemeen zal de in een proefvak geteste bekleding uiteindelijk onder vergelijkbare belastingen/omstandigheden worden toegepast en niet worden verschaald zoals bij schaalmodelonderzoek wel het geval is. Het proefvak wordt met name gebruikt voor het verkrijgen van ervaring met aanleg, onderhoud, duurzaamheid en maatschappelijke acceptatie. Proefvakken kennen een aantal voor- en nadelen:

- voordelen:
  - real life: geen schalingsproblemen;
  - bewezen sterkte: de bekleding is in ieder geval zo sterk als de zwaarst voorgekomen belasting in het proefvak;
  - ervaring opbouwen met aanleg en duurzaamheid.
- nadelen:
  - het proefvak loopt een risico: de sterkte van de bekleding is immers niet bewezen en faalt mogelijk eerder dan verwacht;
  - de belasting die optreedt is niet te reguleren, daardoor zal de belasting relatief klein zijn (geen 1/10.000 jaar stormconditie). Falen van de bekleding wordt waarschijnlijk niet bereikt. Hierdoor wordt niet duidelijk hoe sterk een bekleding precies is. Dit resulteert in een grotere veiligheidsmarge bij het ontwerp;
  - het is moeilijk om de exacte belasting op een proefvak te achterhalen;
  - in een proefvak wordt meestal slechts één configuratie aangelegd. Het effect van helling, dichtheid of andere parameters wordt dan niet duidelijk;
  - weinig inzicht in faalmechanismen, vaak is de enige informatie dat een bepaalde bekleding stabiel is tot een bepaalde belasting (de hoogst voorgekomen belasting in de proefperiode).

Aangelegde proefvakken kunnen eventueel zwaarder worden belast dan de frequent voorkomende belastingen, door gebruik te maken van de golfoverslag-simulator of de golfklap-simulator. Deze apparaten simuleren slechts een deel van de complexe golfbelasting op de bekleding. Daarom moet bij een dergelijke keuze van beproeven sprake zijn van voldoende inzicht in de maatgevende bezwijkmechanismen.

### Langs theoretische weg een rekenmethode afleiden

Als duidelijk is welke krachten een rol spelen en hoe de sterkte van een bekleding tot stand komt, is het mogelijk om via een theoretische weg een rekenmethode af te leiden. Omdat belastingen en ook de sterkte van een bekleding veelal complex zijn, is er vrijwel altijd experimentele aanvulling en bevestiging met behulp van modelonderzoek vereist. Voor veel bestaande bekledingen is een theoretische model opgezet waarna een aantal kritieke parameters zijn bepaald met modelonderzoek. Dit tezamen vormt dan de rekenregels voor de bekleding. Ter voorbeeld wordt hier het theoretische model op basis van een krachtenevenwicht van een enkele steen in stroming gegeven.

In Figuur 3-15 is de stroming rondom een steen te zien. Uit de stromingsleer is bekend hoe groot de krachten zijn die deze stroming geeft afhankelijk van de vorm, grootte van het object en de stroomsnelheid. Deze stroming geeft een opwaartse kracht (lift force), een sleepkracht en een schuifkracht (zie Figuur 3-15). Deze hydraulische krachten op een steen kunnen met behulp van de hydrodynamica worden afgeleid en zijn evenredig aan het

aanstromoppervlak van de steen ( $d^2$ ), snelheid in het kwadraat ( $u^2$ ) en het soortelijke gewicht van water. Dit is wiskundig als volgt weer te geven:

$$F = C * \rho_w * u^2 * d^2$$

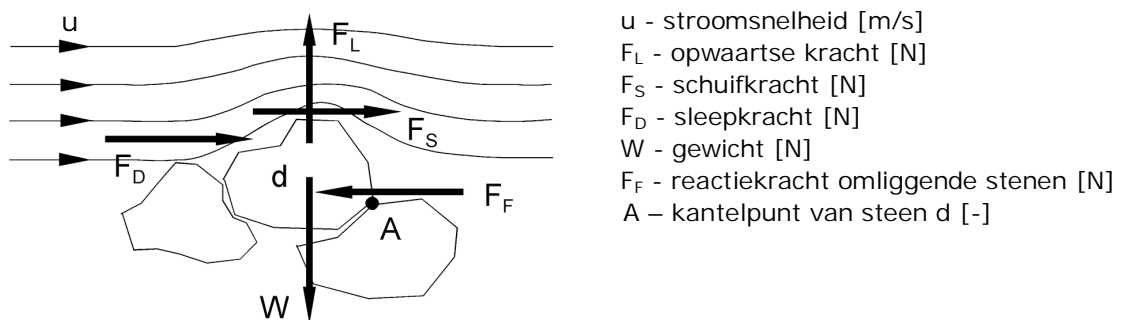
C is een constante die onder andere afhangt van vorm en stroomsnelheid. De hydraulische krachten vormen samen de resulterende aandrijvende kracht op de steen. De krachten die de steen op zijn plaats houden, zijn de zwaartekracht ( $W$ ) en de reactiekracht van de omliggende stenen ( $F_F$ ). De steen verplaatst wanneer de hydraulische krachten of momenten op de korrel groter zijn dan de stabiliserende krachten of de momenten. Dit betekent dat de korrel wegschuift of een roterende beweging om het draaipunt A maakt. Uit het krachtenevenwicht (de steen is stabiel) is de volgende evenwichtsrelatie op te stellen:

$$C * \rho_w * u^2 * d^2 \text{ (resulterende aandrijvende kracht)} \approx (\rho_s - \rho_w) * g * d^3 \text{ (tegenwerkende kracht)}$$

Hieruit kan de volgende relatie worden afgeleid:

$$u^2 \approx K * ((\rho_s - \rho_w) / \rho_w) * d$$

Waarin  $K (=g/C)$  de evenredigheidsconstante is. In feite is dit een theoretische relatie. In het verleden zijn er verschillende pogingen gedaan om op analytische wijze uit het krachtenevenwicht de evenredigheidsconstante  $K$  te bepalen. Dit leidde echter altijd tot een overschatting van de kritische snelheid (snelheid waarbij de steen gaat bewegen) [38]. Omdat het stromingspatroon complex is (turbulentie en stroomsnelheid om de steen), de steentjes nooit dezelfde vorm hebben, en ook het aanstromoppervlak nooit hetzelfde is, is er vrijwel altijd modelonderzoek vereist om de parameter  $K$  te bepalen.



Figuur 3-15: Stroming en krachten voor een steen

#### Numerieke modellen

Het is mogelijk om de fysische processen uit de werkelijkheid te beschrijven met een mathematisch model. Een stap verder is het oplossen van de mathematische vergelijkingen met behulp van een numeriek computermodel. In een numerieke simulatie wordt de werkelijkheid nagebootst door een object op te delen in kleine stukjes. Voor elk stukje rekent de computer dan voor iedere tijdstap opnieuw de fysische grootheden uit. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld de krachten op een bekleding ten gevolge van golfbelasting en de reactie van de bekleding op deze krachten bepaald worden.

Het model moet alle van belang zijnde veelal complexe fysische processen meenemen om de werkelijkheid op de juiste manier te kunnen beschrijven. Het model is altijd een schematisering (en een versimpeling) van de werkelijkheid. Het aantal fysische processen dat een rol speelt is doorgaans groot en de processen veelal complex. Daarom is ook bij deze methode experimentele aanvulling en verificatie vrijwel altijd vereist. Met experimenten kan het model tevens gekalibreerd en gevalideerd worden. Wanneer een model eenmaal gekalibreerd is kunnen eenvoudig meerdere configuraties (taludhelling, golfhoogten) worden doorgerekend.

Een voorbeeld van een numeriek model is ComFLOW [57]. ComFLOW is gebaseerd op de Navier Stokes vergelijkingen die de golfbewegingen beschrijven als een onsamendrukbare viskeuze vloeistof. ComFLOW kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor het bepalen van de druk en schuifspanningen op een bekleding door golfbelasting.

## 4 Milieuhygiënische aspecten

Bij het toelaten van nieuwe bekledingsmaterialen voor waterkeringen dient aandacht te worden besteed aan de milieuhygiënische aspecten (waterbezwaarlijkheid) van de materialen.

- de bekleding mag geen negatieve effecten hebben op het milieu;
- dit moet worden aangetoond.

Het wettelijke kader voor de milieuhygiënische toetsing bij aanleg en gebruik van bouwstoffen in oppervlaktewater is de Waterwet en het Besluit bodemkwaliteit (zie ook hoofdstuk 2 en bijlage II). Welke regelgeving van toepassing is, wordt bepaald door de aard en samenstelling van het materiaal. Voorop staat dat in alle gevallen voldaan dient te worden aan de zorgplicht voor de bodem en het oppervlaktewater. Het verschil tussen droge bodems en waterbodems sluit aan bij het begrip 'oppervlaktewaterlichaam' zoals dat in de Waterwet wordt gehanteerd. De bodem en oever van een oppervlaktewaterlichaam vallen onder de Waterwet. Alle andere bodems vallen onder de Wet bodembescherming. Bij bepaalde rijkswateren, zoals de onbedijkte delen van rivieren, is niet meteen duidelijk waar de grens ligt. Deze grens zal daarom op kaarten bij de Waterregeling worden aangegeven. Het zal ook mogelijk zijn om op die kaarten bepaalde gebieden aan te wijzen waar de Wet bodembescherming toch van toepassing is, ook al behoort dat gebied tot een oppervlaktewaterlichaam.

Niet voor alle innovatieve bekledingen is het nodig een uitgebreid onderzoek uit te voeren naar de milieuhygiënische aspecten. Van veel stoffen is al bekend dat ze geen ontoelaatbare belasting geven. Voor veel in de waterbouw toegepaste materialen zijn deze te vinden in [59]. Alle daarin genoemde materialen kunnen worden toegepast behoudens de restricties die erbij zijn vermeld. Steeds is de waterkwaliteitsbeheerder echter gerechtvaardigd te vragen dit aan te tonen, bijvoorbeeld door het overleggen van certificaten van de leveranciers. Om problemen te voorkomen, is het aan te bevelen tijdig contact te zoeken met de waterkwaliteitsbeheerder, zodat samen vastgesteld kan worden of er geen onacceptabele milieuhygiënische belasting te verwachten is.

Er kan een aantal fasen onderscheiden worden bij het inschatten van de risico's:

1. aanlegfase;
2. gebruiksfase;
3. breuk/falen/slijtage;
4. afvalfase.

Dit hoofdstuk heeft voornamelijk betrekking op de aanlegfase en in mindere mate op de overige fasen, omdat in deze fase de relevante milieuhygiënische belasting kan worden verwacht. Ook voor de andere fasen is het echter van belang het risico van milieuhygiënische belasting in te schatten. Dampen en gassen die vrijkomen tijdens de aanlegfase dienen ter bescherming van het personeel te voldoen aan hetgeen is vastgesteld in de Arbo wet- en regelgeving.

In §4.1 zal allereerst de toetsing van gereede producten worden besproken. In §4.2 zal worden ingegaan op de toelatingsaspecten van de in-situ (ter plaatse bereide) dijkbekledingsproducten.

Onder gereede producten worden kant-en-klare producten (geen halffabrikaten) verstaan, zoals betonelementen en kunststofproducten. In-situ dijkbekledingen zijn dijkbekledingen waarbij de samenstellende componenten op of nabij de locatie worden gemengd en op de juiste plaats worden aangebracht en daar hun eindeigenschappen krijgen. Een aparte paragraaf is besteed aan in-situ dijkbekledingen die onder water worden toegepast.

#### 4.1 Beoordeling van bouwstoffen (gereede producten)

De toepassing van kant-en-klare (gereede producten) als dijkbekleding is niet vergunningplichtig in het kader van de Waterwet (artikel 6.5.c). Het wettelijke kader voor de toepassing van bouwstoffen als dijkbekledingsmateriaal is het Besluit bodemkwaliteit (Bbk). Het doel van het Bbk is milieuhygiënische voorwaarden stellen aan de toepassing van bouwstoffen, grond en baggerspecie ter bescherming van de bodem en het oppervlaktewater. De regels verschaffen tevens duidelijkheid over de mogelijkheden van de toepassing van nieuwe, innovatieve materialen. Het Bbk heeft alleen betrekking op steenachtige bouwstoffen. Dat zijn bouwstoffen die voor meer dan 10% uit silicium, calcium en/of aluminium bestaan zoals beton, asfalt, dakpannen, bakstenen en puingranulaat. Andere materialen worden in de praktijk ook toegepast als bouwstof, maar vallen niet onder het Bbk.

##### 4.1.1 *Steenachtige bouwstoffen*

Het Bbk is van toepassing voor steenachtige producten en stelt eisen aan gereede producten (niet aan halffabrikaten). Door het overleggen van een milieuhygiënische verklaring wordt aangetoond dat het materiaal de maximale waarden voor emissie en samenstelling niet overschrijdt. Met een milieuhygiënische verklaring wordt de milieukwaliteit van een partij aangetoond. Voor bouwstoffen bestaan drie milieuhygiënische verklaringen:

- partijkeuring;
- erkende kwaliteitsverklaring;
- fabrikant-eigenverklaring.

Een partijkeuring is een eenmalige keuring van een individuele partij bouwstoffen.

De erkende kwaliteitsverklaring wordt gebruikt voor bouwstoffen die uit een gecontroleerd productieproces komen. Een certificerende instelling houdt toezicht en geeft een productcertificaat af. De producent wordt vervolgens getoetst op zijn integriteit en wordt erkend door Bodem+. Op de website van Bodem+ (<http://www.senternovem.nl/Bodemplus/>) staan alle erkende kwaliteitsverklaringen.

De fabrikant-eigenverklaring is voor hoogwaardige bouwstoffen uit een gecontroleerd proces waarbij vrijwel geen risico is dat deze stoffen de maximale waarden overschrijden. Als een product volgens de toelatingskeuring aan de criteria voldoet, mag de producent zelf verklaren dat zijn bouwstof voldoet aan de eisen. Een overzicht van fabrikant-eigenverklaringen staat op de website van Bodem+. Een producent kan per product (type bouwstof) slechts één type milieuhygiënische verklaring gebruiken.

De toepasser van een bouwstof moet de verklaring ten minste vijf jaar kunnen tonen.

##### 4.1.2 *Niet-steenachtige bouwstoffen*

Bij de toepassing van niet-steenachtige gereede producten (bijvoorbeeld producten van kunststof) is het Bbk niet van toepassing. Een dergelijke toepassing als dijkbekleding is ook



niet vergunningplichtig in het kader van de Waterwet (artikel 6.5.c). Een melding aan/instemming van het bevoegd gezag is echter wel verplicht. Het bevoegd gezag kan er voor kiezen om hier wel of niet op te reageren.

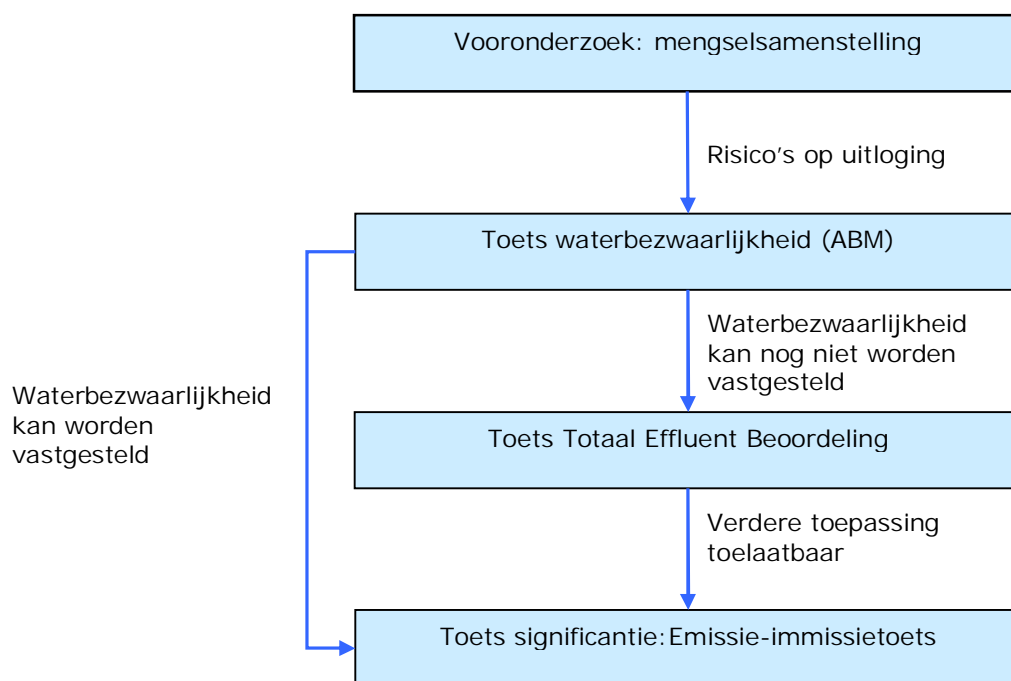
#### 4.2

##### Beoordeling van in-situ bereide producten

Onder in-situ bereide producten worden producten verstaan waarbij de binding of uitharding nog niet geheel is voltooid op het moment dat deze op de waterkering worden aangebracht. Of het milieuhygiënisch verantwoord is om de producten toe te passen, wordt bepaald door de milieukwaliteit van de samenstellende componenten, de snelheid van binding of uitharden, en of er afstroming naar bodem en/of oppervlaktewater plaatsvindt. Alleen kijken naar het eindproduct is in deze gevallen niet voldoende om te voldoen aan de zorgplicht voor de bodem en het oppervlaktewater. Deze aspecten zullen daarom in een vooronderzoek nader onderzocht moeten worden. Door het ter plaatse samenvoegen van reactieve en niet-reactieve componenten worden de in-situ dijkbekledingsmaterialen verkregen.

Bij cementgebonden producten zijn dit calcium- en aluminiumsilicaten uit het cement/vliegas en dergelijke die met water een verbinding aangaan (hydraulische verbinding) en waarbij zand en/of grind als toeslagstoffen worden gebruikt. Bij kunststoffen spreekt men van een hars (polymeer: veelal een reactieve schadelijke verbinding) en een verharder (vernetter). Door uitharding verkrijgt men hieruit het eindproduct. Ook hier kan bijvoorbeeld zand en/of grind als vulmateriaal worden gebruikt.

Onderstaande toetsing geldt voor zowel steenachtige als niet-steenachtige bouwstoffen. De in deze paragraaf geschetste aanpak kan gebruikt worden bij de inschatting van de risico's voor het aquatisch milieu van (nieuwe in-situ bereide) producten bestemd voor dijkbekledingen. De vergunning die vanuit de Waterwet vereist is, vormt hierbij een belangrijk uitgangspunt. Figuur 4-1 geeft een overzicht van de te nemen stappen bij de inschatting van de risico's naar het aquatisch milieu voor in-situ toepassingen van dijkbekledingsmateriaal.



Figuur 4-1: Stappenplan inschatting risico's stoffen naar aquatisch milieu

#### 4.2.1

##### *Optimalisatie aanlegfase*

Wanneer bekend is of verwacht kan worden dat er chemische verbindingen gebruikt worden die waterbezwaarlijk zijn, dient de producent de emissies naar het milieu zoveel mogelijk te minimaliseren. Dit kan door het gebruik van dit soort stoffen in de aanlegfase zoveel mogelijk te optimaliseren. Dit wordt ook wel aangeduid met het voorzorgsprincipe, dat voortkomt uit artikel 6.8 van de Waterwet. Hierin staat dat eenieder die redelijkerwijs had kunnen vermoeden dat door handelingen of het nalaten ervan de bodem of oever van een oppervlaktewaterlichaam verontreinigd of aangetast kan of kon worden, de verplichting heeft om alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd om die verontreiniging of aantasting te voorkomen, dan wel de gevolgen te beperken en zoveel mogelijk ongedaan te maken (artikel 6.8 Wtw).

Optimalisatie van productvorming kan onder andere op de volgende manieren:

- toepassen juiste mengverhouding: bij het mengen van verschillende chemische stoffen is het denkbaar dat één van de stoffen in overmaat wordt toegevoegd. Wanneer deze stof toxisch is of toxische stoffen kan vormen met water is wellicht een andere mengverhouding beter. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met onvermijdelijke uitvoeringson nauwkeurigheden;
- wijze van mengen: mengen van stoffen kan op verschillende manieren. Bij de ene manier zal het proces beter gecontroleerd worden dan bij de andere. Een gecontroleerd productieproces heeft de voorkeur. Goede menging kan in veel gevallen al bereikt worden met bijvoorbeeld een simpele betonmixer;
- werkvolgorde: het voorschrijven van de juiste werkvolgorde kan een aanzienlijke optimalisatie van de aanlegfase betekenen;
- toepassen juiste stoffen: een gevaarlijke chemische stof kan onmisbaar zijn of kan mogelijk makkelijk worden vervangen;
- gebruik van de meest wenselijke technieken om het product aan te brengen, waardoor een negatief effect op het milieu wordt beperkt of geminimaliseerd;
- snelheid uitharding in de aanlegfase: dit kan een cruciale parameter zijn bij de beoordeling! Tijdens de uitharding kunnen grondstoffen die nog niet zijn omgezet uit het materiaal diffunderen/uitlogen (zie onder) en in het water terechtkomen. De snelheid van uitharding bepaald dan hoe lang er mogelijk chemische stoffen in het water terecht kunnen komen. Optimalisatie kan dan plaatsvinden door dit proces te versnellen.

#### 4.2.2

##### *Vooronderzoek*

Voordat nieuwe innovatieve materialen mogen/kunnen worden toegepast, dient er een vooronderzoek plaats te vinden. Het vooronderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

- A. onderzoek van de uitgangsstoffen (waterbezwaarlijkheid);
- B. onderzoek naar de mengsamenstelling, en;
- C. onderzoek van het eindproduct.

##### A. Onderzoek van de uitgangsstoffen (waterbezwaarlijkheid)

De afzonderlijke componenten zoals harsen en harders kunnen milieubezwaarlijke stoffen bevatten. Bij nieuwe materialen die in-situ bereid worden, dient de waterbezwaarlijkheid van de afzonderlijke componenten getoetst te worden in verband met mogelijke restlozing van chemische componenten. Dit kan gedaan worden met behulp van de Algemene Beoordelingsmethodiek (ABM, deze wordt in de vergunningverlening in het kader van de Waterwet gebruikt om de milieueigenschappen van vrijkomende stoffen te kunnen beoordelen [60]. Bij de ABM wordt gekeken naar aspecten als toxiciteit, bioaccumulatie en persistentie (afbreekbaarheid), schadelijkheid op de gezondheid van de mens, carcinogeniteit (eigenschap van een stof om kanker te veroorzaken), mutageniteit (mate waarin mutatie

wordt veroorzaakt) en de reprotoxiciteit (mate van schadelijke invloed op voortplanting) van stoffen. Tevens wordt er gekeken of de betreffende stof een zwarte-lijststof is. De mate van waterbezwaarlijkheid geeft vervolgens aan welke mate van inspanning wordt verlangd om de emissie naar water te saneren. Dit kan ertoe leiden dat er extra inspanningen vereist zijn wanneer het middel wordt toegepast, of dat het materiaal niet mag worden toegepast. De producent dient aan de toepasser informatie te leveren over de waterbezwaarlijkheid van de betreffende componenten. Wanneer de waterbezwaarlijkheid niet kan worden vastgesteld (wegens te weinig kennis, combitoxicologie, et cetera) wordt een Totaal Effluent Beoordeling (TEB) uitgevoerd.

Dit gebeurt nadat voldoende binding/utharding heeft plaatsgevonden. Ook in het geval dat het product uit een mengsel op het werk wordt aangebracht en er dus geen risico is op het vrijkomen van afzonderlijke componenten, wordt dit materiaal onderworpen aan een TEB.

#### Totaal-Effluent Beoordelingsmethodiek (TEB)

In de praktijk kan het zo zijn dat niet geheel duidelijk wordt/is wat de precieze samenstelling van een product is, welke rest- en tussenproducten ontstaan of dat niet voldoende informatie beschikbaar is over de waterbezwaarlijkheid van (componenten) van het toe te passen materiaal. In deze complexe gevallen kan de Totaal-Effluent Beoordelingsmethodiek een oplossing zijn. Met behulp van deze methodiek kunnen de directe effecten van het 'effluent' getoetst worden door middel van bio-assays. Ook wordt gekeken naar persistentie, bioaccumulatie en toxiciteit.

Bioassays zijn effectmetingen, waarbij levende organismen worden blootgesteld aan de producten. Op deze manier wordt direct het effect van alle stoffen in de bekleding bepaald. Groot voordeel is dat ook de effecten van nog onbekende stoffen/onbekende combinaties of nog niet onderzochte stoffen worden meegenomen. Een nadeel is dat de oorzaak van eventuele toxiciteit niet per definitie aan een specifieke stof toe te wijzen is.

De resultaten van de Totaal Effluent Beoordeling (TEB) worden overlegd met het bevoegd gezag. Wanneer uit de resultaten blijkt dat het materiaal inclusief de eventuele restemissies naar bodem en oppervlaktewater geen effect hebben op het biologische leven, mag het materiaal worden toegepast. Indien er wel een nadelig effect geconstateerd wordt, dient een emissie-immissie toets plaats te vinden.

#### B. Onderzoek naar de mengsamenstelling

Naast de afzonderlijke componenten wordt bij het vooronderzoek door de toepasser inzicht gegeven in gegevens over de bindings-/uthardingstijd, de volledigheid van de binding en de uitgangsmaterialen. Doel hiervan is aan te tonen dat de toepasser een optimale samenstelling kan bereiden waarbij geen of een minimum aan restemissie plaatsvindt. Bij deze laboratoriumproeven worden de toeslagmaterialen gebruikt die ook in de praktijkproef gebruikt gaan worden.

#### C. Onderzoek van het eindproduct (zie ook §4.1.1 en §4.1.2)

Indien het eindproduct een steenachtig materiaal is, wordt het materiaal getoetst conform de regels van het Besluit bodemkwaliteit. Indien het product stoffen bevat die niet onderzocht worden volgens het standaard uitloog- en samenstellingspakket dan dient aanvullend uitloog- en samenstellingsonderzoek plaats te vinden. Op den duur kan overwogen worden over te gaan naar een systeem van certificatie (zie §4.1.1). Bij niet-steenachtige producten hoeft volgens de regels van het Bbk geen uitloog- of samenstellingonderzoek plaats te

vinden. Let wel: wanneer bijvoorbeeld staalslakken gemengd worden met chemische componenten is het eindproduct een steenachtige bouwstof (>10 % silicium, calcium en/of aluminium) en dient uitloog- en samenstellingonderzoek plaats te vinden op het eindproduct.

#### 4.2.3 *In-situ* onderwater toepassing

Bij in-situ onderwater toepassingen is de kans op verspreiding van restlozing erg groot. Om deze reden worden onderwatertoepassingen als een aparte categorie behandeld. Een snelle en volledige binding/uitharding verkleint de kans op restemissies.

Ook bij onderwatertoepassingen dient vooronderzoek plaats te vinden waarbij door de toepasser inzicht gegeven wordt in gegevens over de uitgangsmaterialen (ABM en TEB), de uithardingstijd en de volledigheid van de binding. Doel hiervan is om aan te tonen dat de toepasser een optimale mengselsamenstelling kan bereiden waarbij geen of een minimum aan restlozing plaatsvindt. Bij deze laboratoriumproeven worden de toeslagmaterialen gebruikt die ook in de praktijkproef gebruikt gaan worden. Daarnaast dient een zogenoemde emissie-immissietoets [1] plaats te vinden, zie ook Bijlage IV.

Met deze toets kan bepaald worden wat het effect van emissie van de dijkbekleding is op het ontvangende oppervlaktewater. De emissie-immissietoets kan worden uitgevoerd bij het aanbrengen van in-situ dijkbekledingen. Voor nieuwe materialen mag de lozingsbijdrage ter hoogte van het toetsingspunt niet meer bedragen dan 10% van de concentratie ter hoogte van het toetsingspunt. Wanneer nieuwe materialen deze concentratie overschrijden, dienen maatregelen ten aanzien van de mengselsamenstelling of de wijze van aanbrengen te worden genomen.

#### 4.3 Overzicht

Een overzicht van het milieuhygiënisch kader is weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1: Samenvatting milieuhygiënisch kader dijkbekleding materialen

type bouwstof	samenstelling	wettelijk kader	aanvullende eisen/ voorschriften alle gericht op de toepasser
gerede producten	steenachtig	Bbk	de gegevens dienen vijf jaar te worden bewaard
	niet-steenachtig	Wtw*	
in-situ bereide producten	steenachtig	Wtw + Bbk	dossieropbouw (vijf jaar bewaren) bepaling binding/ uithardingstijd in combinatie met ABM toets of TEB uitloogproeven
	niet-steenachtig	Wtw	dossieropbouw (vijf jaar bewaren) bepaling bindings-/uithardingstijd in combinatie met ABM toets of TEB uitloogproeven uitvoeren
in-situ bereide onderwater producten	steenachtig en niet-steenachtig	Wtw	dossieropbouw (vijf jaar bewaren) bepaling bindings-/uithardingstijd in combinatie met ABM toets of TEB uitloogproeven en emissie-immissietoets

\* Het Bbk is niet van toepassing voor kunststoffen

#### 4.4

##### Plan van aanpak

Wanneer een pilot voor de toepassing van innovatief materiaal wordt uitgevoerd, moet voor de waterkwaliteitsaspecten een melding worden gedaan bij de waterkwaliteitsbeheerder. De waterkwaliteitsbeheerder (bijvoorbeeld het waterschap) oordeelt op grond van criteria in het Besluit bodemkwaliteit, dat is gebaseerd op de Waterwet en de Wet bodembeheer. De waterkwaliteitsbeheerder moet de melding binnen de wettelijk gestelde termijn beoordelen. Indien alle overlegde informatie voldoende is, mag het onderhoud worden uitgevoerd. Als de beheerder niet reageert, mag het werk op grond van de melding worden uitgevoerd.

Indien de waterkwaliteitsbeheerder de informatie onvoldoende vindt, kan hij aanvullende informatie eisen. Wanneer de nieuw te overleggen informatie voldoende veiligheid voor het oppervlaktewater garandeert, kan de beheerder alsnog toestemming verlenen. Indien de situatie niet valt onder de criteria van het Besluit bodemkwaliteit of het komende Besluit Lozingen Buiteninrichtingen is er sprake van vergunningplicht. In veel gevallen van innovatief materiaal met complexe chemische stoffen zal hier sprake van zijn.

Wanneer RWS bevoegd gezag is voor de waterkwaliteit en tevens verantwoordelijk is voor het onderhoud doet RWS de gehele inhoudelijke voorbereiding. De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) handelt dan de meldingen of mogelijke vergunning af omdat het eigen werken betreft.

De eindverantwoordelijkheid ten aanzien van toestemming voor het werk zal altijd liggen bij de beheerder van het dijklichaam. Indien het werk een pilotstudie is, zal dit veelal worden uitgevoerd op een afgedamd stukje dijk, waarbij de kade geen directe waterkerende functie meer heeft. Ook in die situatie is de beheerder van het dijklichaam eindverantwoordelijk.

Op basis van de resultaten van het vooronderzoek kan de waterbeheerder besluiten of overgegaan wordt tot het uitvoeren van een werk. Voor aanvang van de pilot dient een Plan van Aanpak te worden opgesteld. In dit plan dienen met betrekking tot het milieuhygiënisch verantwoord toepassen van de materialen, ten minste de volgende gegevens aan de orde te komen:

1. gegevens over de uitgangsmaterialen en de resultaten van het verrichte vooronderzoek;
2. gegevens over de wijze van mengen, apparatuur en de locatie (het inrichtingsplan van het werkterrein dient opgesteld te worden);
3. de wijze van transport van de afzonderlijke componenten en de wijze van aanbrengen van het mengsel op de waterkering;
4. de wijze waarop morsen en wegvloeiën van het mengsel wordt voorkomen;
5. de wijze waarop eventuele restlozingen worden opgevangen en afgevoerd.



## 5 Eisen en wensen vanuit secundaire functies

Naast de primaire functie van de bekleding is er een aantal secundaire functies te definiëren, zoals:

- verkeer;
- ecologie;
- recreatie;
- agrarisch medegebruik;
- wonen;
- overig.

In dit hoofdstuk worden de secundaire functies vertaald in functionele eisen. Deze eisen zijn veelal aanbevelend van aard, maar kunnen dwingend zijn afhankelijk van gewenste functies. Dit is dan doorgaans opgenomen in het bestek. Naast de eisen en wensen die volgen uit secundaire functies zal er altijd voldaan moeten worden aan de eisen die volgen uit de primaire functie (hoofdstuk 3) en de wettelijke eisen.



Figuur 5-1: Waterkering met secundaire functies agrarisch medegebruik (links) en verkeer (rechts)

### 5.1 Verkeer

Als (een deel van) de bekleding de secundaire functie van verkeer dient te vervullen, is de functionele eis dat de bekleding voldoende draagkracht en voldoende weerstand heeft voor de verwachte verkeersbelasting. Verkeer over waterkeringen kan plaatsvinden om diverse redenen:

- inspectie: weinig en licht verkeer;
- herstel en onderhoud: weinig voorkomend middelzwaar tot zwaar verkeer;
- recreatie: frequent en licht verkeer;
- verbinding: afhankelijk van de functie (hoofdrijbaan, parallelweg, fietspad).

De weg kan zich zowel op de buitenberm, de kruin of de binnenberm bevinden. Afhankelijk van de locatie is er naast de verkeersbelasting meer of minder hydraulische belasting te verwachten. De bekleding moet berekend zijn op de verwachte verkeerslast. Als een bekleding dient als verkeersweg kan de laagdikte worden vastgesteld op basis van de gebruikelijke procedures voor wegontwerp. Hiervoor wordt verwezen naar [56].

Vaak zal een dijkbekleding slechts incidenteel worden belast door onderhoudsvoertuigen. In dat geval leidt het bepalen van de laagdikte op basis van de genoemde ontwerphandleiding

tot te grote laagdikten. Door rekening te houden met de specifieke aslasten kan het ontwerp van de laagdikte worden geoptimaliseerd.

## 5.2 Recreatie

Veel Nederlandse waterkeringen worden gebruikt voor recreatie, hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld wandelaars, fietsers, zwemmers, surfers en vissers. Het selectief bevorderen of weren van recreatie en de intensiteit ervan kunnen worden beïnvloed door het type dijkbekleding. Een bekleding met stortsteen is bijvoorbeeld niet geschikt voor zwemmers en fietsers. Voor een bekleding waarop recreatie plaatsvindt, is een aantal (functionele) wensen/eisen van toepassing:

- de bekleding moet bestand zijn tegen belasting door recreanten;
- de bekleding moet goed begaanbaar en voldoende veilig zijn (dit is afhankelijk van het type recreatie: een fietser wil een harde bekleding, een zwemmer een zachte bekleding zonder uitsteeksels);
- de bekleding moet bestand zijn tegen vernielingen die recreanten kunnen veroorzaken.

## 5.3 Ecologie

De waterkering vormt op veel plaatsen de grens tussen land en water. Onder andere door de overgang van droog naar nat biedt een waterkering kansen voor verschillende habitats (geschikte leefomgevingen) voor flora en fauna. Door het plaatsen van een bepaald type bekleding kan plaats worden geboden aan specifieke soorten planten en dieren.

### 5.3.1 *Ecologische functies*

De ecologische functies die de waterkering vervult en waar de bekleding invloed op heeft zijn:

- habitatfunctie: de levensfuncties van flora en fauna worden volbracht op en naast de waterkering;
- corridorfunctie: de meeste grotere wateren maken in Nederland deel uit van de natte ecologische hoofdstructuur. De waterkering kan dan een verbinding zijn tussen meerdere leefgebieden en maakt uitwisseling tussen leefgebieden mogelijk. Dieren die aan beide zijden van de waterkering leven, lopen doorgaans dagelijks over de waterkering;
- vluchtfunctie: bij hoogwater kan (buitendijks) land overstromen, de waterkering kan hierbij als vluchtplaats dienen voor fauna.

De bekleding kan bij het vervullen van deze functies een (ecologische) belemmering vormen. Een voorbeeld hiervan is een water met steile/verticale oevers die hierdoor niet kan dienen als oversteekplaats voor bijvoorbeeld herten: het dier kan in het water vallen, vervolgens niet op de steile kering komen en verdrinken.

Vaak zijn aan een waterloop en/of de bijbehorende waterkering reeds ecologische functies toegekend. De corridorfunctie kan bijvoorbeeld zijn vastgelegd in een aanwijzing als ecologische verbindingzone. In veel gevallen is dan ook vastgelegd voor welke soorten de waterkering als corridor geschikt moet zijn. De habitateisen van deze soorten kunnen een rol spelen in de keuze van het bekledingsmateriaal. Daar wordt hieronder op ingegaan.

### 5.3.2 *Geschiktheid bekledingsmaterialen*

In het algemeen is het wenselijk dat een bekleding op de waterkering zodanig wordt ontworpen dat deze de groei van de oorspronkelijke/gewenste flora en fauna handhaaft of ontwikkelt. Het bekledingsmateriaal moet geschikt zijn als leefgebied voor de gewenste planten (begroeibaarheid, doorgroeibaarheid) en voor gewenste dieren. Hiervoor moet de vestigingswaarde en/of beperkingen van het innovatieve bekledingsmateriaal duidelijk zijn.



Het meest geschikte materiaal hangt sterk af van lokale omstandigheden (hydraulische belastingen) en eisen en wensen voor de gewenste flora en fauna. Daarnaast hangt dit af van de zone in de waterkering. De gunstige eigenschappen voor ontwikkeling van natuurwaarden van de bekleding verschillen hierin per zone. De volgende zonering en gunstige eigenschappen kunnen worden aangehouden:

- zone boven GHW:
  - aanwezigheid van holten en spleten;
- getijdezone:
  - aanwezigheid van holten en spleten;
  - goed water vasthoudend vermogen;
  - ruw oppervlak;
- zone onder GLW:
  - aanwezigheid van holten en spleten;
  - ruw oppervlak.

Voor het realiseren van een grote biodiversiteit is tevens variatie van het type materiaal in de langsrichting van de waterkering van belang. Bovengenoemde waardering heeft hoofdzakelijk betrekking op harde elementen. Harde elementen kunnen een waardevolle ecologische functie vervullen, bijvoorbeeld als schuilplaats voor vis en ongewervelde dieren. Zachte bekledingen, zoals een grastalud of zand kunnen deze functie weer vervullen voor andere soorten met andere eisen.

### 5.3.3

#### *Voorbeelden*

Projectbureau Zeeweringen heeft een lijst opgesteld waarin verschillende constructie-alternatieven van dijkbekleding zijn gecategoriseerd naar ecologische geschiktheid. Dit afwegingskader is gebaseerd op [54] en wordt door Projectbureau Zeeweringen gebruikt voor de dijkversterkingen in Zeeland.

In 2007 is het samenwerkingsproject 'Rijke Dijk' van start gegaan om de ecologische waarde van harde bekleding verder te verbeteren. 'Rijke Dijk' is een samenwerkingsproject van Deltares, Rijkswaterstaat (onder andere WINN), TU Delft en Havenbedrijf Rotterdam. Het project is gericht op het ontwerpen van ecologische diverse zeeweringen, zeedijken, havendammen, golfbrekers of pieren, op basis van ecologische functies. Hierbij staat veiligheid tegen overstromen uiteraard nog altijd centraal, maar ook de recreatiewaarde en de natuurwaarde van de omgeving kan worden verhoogd.

Referentie [17] geeft voor een aantal bestaande oeverbeschermingsmaterialen de ecologische aspecten weer. Hier worden zo veel mogelijk vestigingswaarden en/of beperkingen van de materialen beschreven. Ter illustratie wordt hier van twee materialen de ecologische aspecten weergegeven (uit [17]).

*Schanskorven – een schanskorf is een balk- of plaatvormige doos, gemaakt van een net gevuld met natuursteen of ander steenachtig materiaal.*

*Ecologische aspecten schanskorven: Tussen het vulmateriaal kunnen zich in eerste instantie vooral hoog opgaande planten vestigen. Het voorkomen van soorten is voor een belangrijk deel afhankelijk van slibafzetting. Filterdoek kan een beperkende invloed hebben op de vegetatie-ontwikkeling. De vegetatie biedt een geschikt leefgebied aan diverse diersoorten. Indien er sprake is van een redelijk dichte begroeiing (riet en lisdodde) ontstaan er ook geschikte vestigingsplaatsen voor diverse vogelsoorten. Schanskorven kunnen vanwege de verticale constructie een barrière vormen voor macrofauna, vissen en te water geraakte*

dieren. Door het creëren van openingen die op enige afstand van elkaar liggen, kan de barrièrewerking voor dieren worden verminderd.



Figuur 5-2: Schanskorven

*Betonelementen – elementen vervaardigd uit cementbeton. Cementbeton is een mengsel van grof en fijn toeslagmateriaal, cement, water en eventueel hulp- en/of vulstoffen.*

*Ecologische aspecten: Beton biedt vanwege het gladde oppervlak nauwelijks begroeiingsmogelijkheden. Afhankelijk van de openingen in en tussen de betonnen elementen is er begroeiing mogelijk. Elementen die ruw en poreus zijn, bieden meer vestigingskansen dan gladde elementen. Die ruwheid kan worden gecreëerd met bijvoorbeeld een zogenaamde ecotoplaag. Dit is een laag van (uitgewassen) kalksteen of lavasteen. De vestigingsmogelijkheden voor dieren zijn bij een dergelijke ruwe, open bekleding groter dan bij gladde, geheel gesloten en aansluitende elementen. Vooral in zoute milieus zijn er in de getijdezone goede mogelijkheden voor begroeiing.*

#### 5.4

##### Wonen

Bebouwing op en naast de waterkering stelt specifieke eisen aan de bebouwing. De bebouwing mag de waterkering immers niet negatief beïnvloeden en feitelijk is het mogelijk dat de bebouwing deel uit maakt van (de bekleding van) de waterkering.

Door bebouwing op en naast de waterkering moet de waterkering in veel gevallen nog een aantal functies vervullen:

- de bebouwing moet bereikbaar zijn. De waterkering heeft dan vaak ook een verkeersfunctie. In geval van extreem hoogwater zal deze verkeersfunctie mogelijk worden beperkt;
- ;
- kabels en leidingen: de bebouwing zal voorzien zijn van onder andere elektriciteit, gas en water. Kabels en leidingen zullen daardoor in de nabijheid van de waterkering gelegd worden. Dit vereist de nodige maatregelen;
- recreatie/alledaagse bezigheden: doordat de waterkering bewoond wordt, zal de aanliggende dijk veelal gebruikt worden voor recreatie of (andere) alledaagse bezigheden.

Deze functies die voortkomen uit de functie wonen, brengen hun eigen specifieke functionele eisen met zich mee. Aan deze functionele eisen moet dan in veel gevallen ook voldaan worden.

#### 5.5 Agrarisch medegebruik

De vormgeving en het materiaalgebruik bepalen de mogelijkheid voor agrarisch medegebruik van bekledingen. Agrarisch medegebruik kan betekenen dat de waterkering wordt gebruikt als beweidingsgebied, maar ook als corridor. Bijvoorbeeld in het rivierengebied is er dikwijls zowel in de uiterwaarden als binnendijs veeteelt. De dijk zelf hoeft dan niet voor beweiding geschikt te zijn, maar mogelijk wel voor verbinding van beide zijden. Agrarisch medegebruik kan:

1. de sterkte van de waterkering bepalen;
2. een belasting geven op de waterkering.

Ad 1. De sterkte van grasland (voor het vervullen van de primaire functie) hangt bijvoorbeeld onder andere af van het beheertype (wel/geen bemesting, beweiding, hooien, maaien). De sterkste grasmat wordt bereikt bij hooien zonder bemesting en zonder beweiding [3]. De sterkte van de grasmat enerzijds en de mate van (golf-)belasting anderzijds bepalen welke belasting door agrarisch medegebruik, bemesting en beweiding, toelaatbaar is.

Ad 2. Belastingen die ontstaan door agrarisch medegebruik zijn:

- chemische aantasting door bestrijdingsmiddelen: bestrijdingsmiddelen die worden toegepast op (naastgelegen) landbouwgebied kunnen ook op de bekleding terechtkomen en chemische aantasting veroorzaken;
- landbouwmachines: landbouwmachines die onderhoud plegen, geven een belasting op de bekleding;
- vertrapping door dieren.

Bovenstaand worden mogelijke belastingen en invloeden op de sterkte genoemd die voortvloeien uit de secundaire functie 'agrarisch medegebruik'. De functionele eisen die hieruit worden afgeleid zijn:

- de bekleding moet weerstand bieden tegen de verwachte belastingen (ad 2);
- de sterkte tegen (hydraulische) belasting moet voldoende zijn (ad 1).

#### 5.6 Aantoonbaarheid

Wanneer de bekleding één of meerdere van de secundaire functies dient te vervullen, zal aangetoond moeten worden dat de bekleding hiervoor geschikt is. Voor bijvoorbeeld de functie verkeer betekent dit dat aangetoond dient te worden dat de bekleding niet zal falen bij de verwachte verkeersbelasting. Bij de functie agrarisch medegebruik dient aangetoond te worden dat geen schade ontstaat door dieren, gewassen en verwachte chemische bestrijdingsmiddelen. De ecologische waarde van een bekleding kan het beste bepaald worden met een proefvak. Dit is een goede manier, maar wel tijdrovend (dit duurt doorgaans enkele jaren). Voor de minder cruciale aspecten is het voldoende als aannemelijk gemaakt wordt dat de bekleding eraan voldoet.

#### 5.7 Synthese

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de niet-civieltechnische secundaire functies van de bekledingen van een waterkering. Vaak dient de waterkering een combinatie van primaire en één of meerdere secundaire functies te vervullen. In Tabel 5-1 is per secundaire functie aangegeven aan welke additionele eisen de waterkering dient te voldoen.

Tabel 5-1: Overzicht secundaire functies

secundaire functie	wat bekend moet zijn over de bekleding	bijhorende eisen/wensen voor bekleding
verkeer	sterkte ten aanzien van verkeersbelasting	bekleding dient bestand te zijn tegen verwachte verkeerslast bekleding dient begaanbaar te zijn voor het toe te laten verkeer
ecologie	vestigingswaarde beperkingen voor de ecologie	bekleding dient geschikt te zijn voor gewenste flora en fauna
recreatie	sterkte ten aanzien van belasting begaanbaarheid sterkte ten aanzien van vernielingen	bekleding dient bestand te zijn tegen belasting van verwachte recreanten bekleding dient begaanbaar te zijn voor verwachte/gewenste recreanten bekleding dient bestand te zijn tegen vernielingen en vervuiling
agrarisch medegebruik	mogelijkheden voor beweiding mogelijkheden voor landbouw	bekleding dient bestand te zijn tegen bestrijdingsmiddelen bekleding dient bestand te zijn tegen belasting door landbouwvoertuigen bekleding dient bestand te zijn tegen belasting door dieren
wonen		de waterkering dient geschikt te zijn voor de functies die wonen eventueel met zich meebrengt

## 6 Overige aspecten

Vanuit de functies alleen wordt het pakket aan eisen echter niet compleet. Er dient ook rekening te worden gehouden met aspecten die niet direct verband houden met de functie, maar wel belangrijk zijn en kunnen leiden tot aspecteisen. Uit de functies volgen over het algemeen harde eisen. De aspecten worden doorgaans gewaardeerd ter afweging. In dat geval zijn het wensen. Wensen kunnen echter afhankelijk van de situatie worden verheven tot eis.

Aspecten die worden onderkend zijn:

- techniek:
  - uitvoering;
  - kwaliteitssysteem en kwaliteitscontrole;
  - beheer en onderhoud;
  - verwijderbaarheid;
  - overgangen, aansluitconstructies en bochten;
- duurzaam bouwen – milieueffecten van het materiaalgebruik;
- ruimtelijke kwaliteit – LNC-aspecten;
- levensduur;
- kosten.

Deze aspecten worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

### 6.1 Uitvoering

#### 6.1.1 *Inleiding*

Voor het mogen toepassen van een nieuwe innovatieve dijkbekleding is het zeer belangrijk dat deze ook uitvoerbaar (realiseerbaar) is. De uiteindelijke kwaliteit van een bekledingsconstructie wordt bepaald door het ontwerp, de kwaliteit van de toe te passen materialen en de wijze van uitvoering. In hoeverre een bekleding uitvoerbaar is hangt af van een aantal onderdelen/criteria:

- tijd;
- moeilijkheidsgraad – gevoeligheid voor fouten;
- toleranties;
- controleerbaarheid;
- overlast.

#### 6.1.2 *Tijd*

De tijd waarin een waterkering gebouwd mag worden, is vaak beperkt. De tijdslimiet kan verschillende oorzaken hebben. Bijvoorbeeld:

1. in een getijzone is het tijdsvenster waarbinnen gewerkt kan worden vaak beperkt, met name lager in de getijzone;
2. in het broedseizoen mag soms niet gewerkt worden;
3. er mag alleen buiten het stormseizoen gewerkt worden;
4. in het recreatieseizoen mag niet overal gewerkt worden. Het kan voor een project belangrijk zijn dat een bekleding snel kan worden aangelegd.

### 6.1.3

#### *Moelijkheidsgraad*

De moeilijkheid van het aanbrengen van een bekleding hangt af van het type bekleding maar ook van de betreffende situatie. Zo is het doorgaans makkelijker om een bekleding boven water dan onder water te plaatsen. Voor de uitvoering van een aantal bekledingen zijn specialisten en vaak ook specialistisch materieel nodig. Onder andere het volgende kan invloed hebben op de moeilijkheidsgraad:

- gevoeligheid voor fouten;
- vaststellen van de veiligheid (arbo omstandigheden);
- wijze van verwerking (machinaal of handmatig);
- de bereikbaarheid en begaanbaarheid voor het in te zetten materieel;
- de plaats van verwerking, bijvoorbeeld helling van taluds;
- de gevraagde sterkte tijdens de bouwfase (een tijdelijk bovenlaag van zwaarder filtermateriaal kan bijvoorbeeld noodzakelijk zijn);
- gevaarlijke stoffen: gebruikte materialen kunnen gevaarlijk zijn, bijvoorbeeld door hoge temperatuur of toxiciteit (tijdens de uitvoering);
- ervaring van de aannemer.

Een hogere moeilijkheidsgraad kan leiden tot een mindere kwaliteit van de bekleding of vertraging van het werk. Een voorbeeld van een betrekkelijk eenvoudig aan te leggen bekleding is een breuksteenbekleding. De gevraagde toleranties zijn relatief groot en de gevoeligheid voor fouten relatief klein. Het gereedmaken van de ondergrond, het plaatsen van de stenen en inmeten kan met relatief eenvoudig en op veel plaatsen beschikbaar materieel worden uitgevoerd. Wel geldt dat de uitvoering door vakmensen moet worden gedaan.

Voorbeelden van relatief moeilijk uit te voeren bekledingen zijn:

- zetsteen: de gevraagde toleranties (ruimte tussen de blokken maar ook de dikte van de filterlaag) zijn veel kleiner en er is gespecialiseerd materieel nodig;
- toepassing van kunstharsen opgemengd met breuksteen of steenslag: de kunsthars wordt gemaakt van meerdere (vaak giftige) componenten die in de juiste verhouding gemengd dienen te worden. Het meng- en uithardingsproces bestaat uit belangrijke stappen die op secure wijze uitgevoerd worden.



Figuur 6-1: Uitvoering breuksteen: 'betrekkelijk eenvoudige plaatsing met op veel plaatsen beschikbaar materieel' (links). Asphaltmenginstallatie, benodigd om een homogeen asfaltmengsel te kunnen maken (rechts)



#### 6.1.4

#### Toleranties

Aan de nauwkeurigheid waarmee de bekleding dient te worden geplaatst, worden vooraf eisen gesteld, die veelal voortvloeien uit de overwegingen ten aanzien van de functie die de gerealiseerde waterkering moet vervullen. Een laagdikte van een bekleding mag bijvoorbeeld niet te klein zijn. Daarentegen is er vanuit praktisch oogpunt een maximaal bereikbare nauwkeurigheid die afhankelijk is van de situatie, maar ook van het toegepaste bekledingstype.

Aan de toleranties voor een bekledingstype zitten daarom twee kanten. Enerzijds is het een voordeel wanneer de gevraagde toleranties groot zijn. Anderzijds is het een voordeel wanneer het materiaal heel nauwkeurig te plaatsen is.

In Tabel 6-1 is ter voorbeeld de praktisch haalbare verticale nauwkeurigheid voor breuksteen te zien. Doordat het materiaal grillige vormen heeft en er groot materieel wordt toegepast, is nauwkeurigheid van plaatsen relatief klein maar de vereiste nauwkeurigheid is doorgaans ook niet groot.

Tabel 6-1: Praktische haalbaarheid verticale nauwkeurigheid stortsteen [30]

gradering	nominale steen diameter $D_{n50}$	wijze van aanbrengen van de bestorting		
		vanaf land (kraan)		vanaf water (kraan)
		boven water	onder water	onder water
0,3 - 1 ton	0,6 m	$0,5 * D_{n50}$	$0,6 * D_{n50}$	$0,8 * D_{n50}$
1 - 3 ton	0,9 m	$0,5 * D_{n50}$	$0,6 * D_{n50}$	$0,8 * D_{n50}$
3 - 6 ton	1,2 m	$0,5 * D_{n50}$	$0,6 * D_{n50}$	$0,8 * D_{n50}$



Figuur 6-2: Slecht geplaatste zuilen (links) en blokken (rechts). Is dit binnen de toleranties?

#### 6.1.5 *Controleerbaarheid*

Hetgeen ontworpen is en voldoet aan de eisen dient ook werkelijk conform ontwerpeisen te zijn gebouwd. Vanuit het ontwerp wordt duidelijk welke aspecten gecontroleerd moeten worden.

#### 6.1.6 *Overlast*

Tijdens de uitvoering zal altijd overlast ontstaan voor de bewoners op en langs de waterkering en langs de transportroutes. Het aan- en afvoeren van bouwstoffen en materieel en bijvoorbeeld het inbrengen van damwandconstructies leidt veelal tot stremmingen, trillings- en geluidsoverlast. Het is een voordeel wanneer er bij het plaatsen van een bekleding weinig overlast wordt veroorzaakt.

#### 6.2 *Kwaliteitssysteem en kwaliteitscontrole*

De beheerder van de waterkering moet zekerheid hebben dat de innovatieve bekleding die geplaatst wordt ook daadwerkelijk gerealiseerd wordt en ook daadwerkelijk de beoogde kwaliteit heeft. Degene die de bekleding realiseert (in het algemeen een aannemer) is uiteindelijk verantwoordelijk voor de sterkte/kwaliteit van de bekleding. De aannemer moet daarvoor aantonen dat hij gewerkt heeft volgens de procedures/ specificaties die gesteld zijn door de ontwikkelaar.

Bij het ontwikkelen van een innovatief materiaal heeft de ontwikkelaar de sterkte van de bekleding aangetoond (zie § 3.8) en is aangetoond dat de bekleding in de praktijk realiseerbaar is. De werkelijke sterkte hangt echter ook af van:

- kwaliteit van de uitvoering of juiste uitvoering;
- kwaliteit van de materialen (bron en eindmateriaal);
- de dimensies van de geplaatste bekleding.

In een kwaliteitssysteem worden alle processen beschreven die nodig zijn om te komen tot het leveren van een bekleding die voldoet aan de vooraf gestelde eisen. De ontwikkelaar dient daarvoor binnen het kwaliteitssysteem onder andere de volgende procedures/specificaties voor te schrijven:

- een procedure voor aanleg, het productie- en verwerkingsproces van het product;
- specificaties van de toe te passen materialen en zo nodig een procedure waarmee wordt aangetoond dat het materiaal de specificaties heeft die het beoogt te hebben;
- een methode waarmee kan worden aangetoond dat de geplaatste bekleding ook werkelijk de juiste dimensies heeft.

De aannemer moet vervolgens aan de dijkbeheerder aantonen dat hij de procedures op de juiste manier heeft gevolgd. De ontwikkelaar dient een kwaliteitssysteem zodanig op te stellen dat dit voldoende garanties biedt voor een goed eindresultaat van de bekleding.

#### 6.2.1 *Geborgde kwaliteit*

Om de borging van de kwaliteit van het ontwerp, het voortbrengings-/productieproces, het product zelf en de juiste toepassing van het product zichtbaar te maken, wordt in de bouwsector veelal gebruikgemaakt van zogenaamde kwaliteitsverklaringen.

Kwaliteitsverklaring is een ander woord voor certificaat.

Deze kwaliteitsverklaringen worden uitgegeven door gekwalificeerde certificatie-instellingen (CI's)<sup>3</sup>. Accreditatie door een accreditatie-instelling (bijvoorbeeld de Raad van Accreditatie

---

<sup>3</sup> Zo geeft Kiwa Nederland B.V. kwaliteitsverklaringen af onder het KOMO-merk. Voor het gebruik van het KOMO-merk heeft Kiwa Nederland B.V. een licentieovereenkomst met de stichting KOMO gesloten. Naast kwaliteitsverklaringen



“RvA”) is een bewijs dat de instelling voor de betreffende dienst gekwalificeerd is. Dit houdt onder andere in dat de instelling onafhankelijk en deskundig is.

## 6.2.2

### *Kwaliteitsverklaringen*

Er zijn verschillende soorten kwaliteitsverklaringen. De belangrijkste zijn:

#### Attest:

Een certificaat van ontwerp: een document waarin de certificatie-instelling verklaart dat er een gerechtvaardigd vertrouwen bestaat dat de eigenschappen van een product of bouwdeel onder nader te stellen voorwaarden voldoen aan de eisen die zijn vastgelegd in de voor dat product of bouwdeel geldende eisen<sup>4</sup>. De controles die de CI in het kader van attestatie uitvoert, hebben alleen betrekking op het ontwerp en de geldigheid daarvan. Er vindt bij attestatie geen controle plaats op de volgens het ontwerp vervaardigde producten of bouwdelen. Om die reden mogen deze producten niet van een certificatiemerk worden voorzien.

#### Productcertificaat:

Een document waarin de certificatie-instelling verklaart dat er een gerechtvaardigd vertrouwen bestaat dat vermelde en door de leverancier vervaardigde producten bij aflevering voldoen aan de voor die producten geldende eisen<sup>4</sup>. In dat geval mogen de producten worden voorzien van het certificatiemerk van de certificatie-instelling.

#### Attest met productcertificaat:

Een document waarin de certificatie-instelling verklaart dat er een gerechtvaardigd vertrouwen bestaat dat de eigenschappen van een product of bouwdeel onder nader te stellen voorwaarden voldoen aan de geldende eisen<sup>4</sup>. En tevens dat de door de leverancier vervaardigde producten bij aflevering geacht kunnen worden te voldoen aan de voor die producten geldende eisen<sup>5</sup> die onder meer in het attest zijn beschreven. In dat geval mogen de producten worden voorzien van het certificatiemerk van de certificatie-instelling. Hier gaat het bijvoorbeeld om de toepassing van het product in een bepaalde omgeving (bijvoorbeeld in het oppervlaktewater).

#### Procescertificaat:

Een document waarin de certificatie-instelling verklaart dat er een gerechtvaardigd vertrouwen bestaat dat een door een installateur geleverde vervaardigings-, installatie- of verwerkingsproces voldoet aan geldende eisen<sup>5</sup>. Het gaat hier bijvoorbeeld om de kwaliteit van de aanleg van een dijkbekleding.

## 6.2.3

### *Beoordelingsrichtlijnen en normen*

#### Beoordelingsrichtlijn

Het uitgeven van kwaliteitsverklaringen vindt plaats op basis van zogenaamde beoordelingsrichtlijnen (BRL's). In deze BRL's worden eisen gesteld aan het product/ de dienst (ontwerp), het productie-/voortbrengingsproces en de interne- en externe kwaliteitsbewaking. Tevens zijn de kwalificaties benoemd waar de certificatie-instelling die de externe beoordeling uitvoert aan moet voldoen. Voorts zijn eisen gesteld aan de inhoud van de kwaliteitsverklaring. Dit stelsel wordt een certificatieschema genoemd zodra dit in uitvoering komt.

---

onder licentie (KOMO-certificaten) kunnen CI's ook kwaliteitsverklaringen onder eigen merk afgeven (Kiwa-certificaten). De CI blijft in alle gevallen verantwoordelijk voor de uitgifte van de kwaliteitsverklaringen.

<sup>4</sup> Hier wordt verwezen naar de vigerende BRL.

Indien voor het betreffende product/ de betreffende dienst reeds relevante nationale of internationale normen voorhanden zijn, zal in de BRL daar naar worden verwezen<sup>5</sup>. Waar van toepassing regelt de BRL ook de aansluiting met de relevante wettelijke eisen, bijvoorbeeld aansluiting op het Bouwbesluit of op het Besluit bodemkwaliteit. In dat laatste geval wordt het certificaat een erkende kwaliteitsverklaring genoemd, die daarmee geldt als wettelijke bewijslast.

Een BRL wordt opgesteld door een onafhankelijk College van Deskundigen samengesteld uit belanghebbende partijen.

#### Normen

In Nederland worden normen uitgegeven door het NEN. Gaandeweg worden deze normen vervangen door Europese Normen (CEN) en mondiale normen (ISO). Ontbreken deze normen, dan worden de eisen in de BRL zelf vastgelegd.

Normen kunnen worden opgenomen in de wetgeving, maar veelal is dit niet het geval. In het ideale geval is een eis in de wet opgenomen en de bijbehorende bepalingsmethodieken in een normblad.

#### 6.2.4 *Inpassing innovatief materiaal met betrekking tot certificering en normen*

Een inkoper van dijkbekledingen zal veelal als eis hebben dat de dijkbekleding een productcertificaat heeft, met voorkeur voor een attest met productcertificaat indien het deze beschikbaar is. In het geval van een nieuw type bekleding is de kans echter groot dat deze niet aan bestaande BRL's en/of onderliggende NEN-normen voldoet.

De ontwikkelaar zal daarom de BRL moeten laten aanpassen of een nieuwe BRL moeten laten opstellen. Veelal kunnen de BRL's relatief eenvoudig worden aangepast en kan in de BRL verwezen worden naar (NEN- of EN-) normen. In deze documenten kunnen ontwerp-eisen, technisch inhoudelijke aspecten en verwerkingseisen worden vastgelegd. De ontwikkelaar zal hiervoor contact moeten opnemen met een op dit terrein deskundige CI. Daarnaast vraagt de aanleg van dijkbekledingen om specifieke deskundigheid. Dat kan geregeld worden door deze eisen in een procescertificaat vast te leggen. Daarmee is de hele keten gesloten en heeft de opdrachtgever een grote mate van zekerheid over de kwaliteit van de dijkbekleding. Om voor dergelijke kwaliteitsverklaringen in aanmerking te komen, dient het product/proces dus te voldoen aan de op dat moment geldende BRL inclusief de eventueel onderliggende (NEN- of EN-) normen.

#### 6.3 Beheer en onderhoud

Beheer en onderhoud zijn activiteiten die noodzakelijk zijn om te waarborgen dat de functies van een constructie zowel op de korte als lange termijn worden vervuld en wordt voldaan aan de vooraf vastgestelde eisen en normen. Om vast te stellen dat een bekleding voldoet aan de vastgestelde eisen dienen bepaalde eigenschappen meetbaar te zijn voor bijvoorbeeld het kunnen uitvoeren van de zesjaarlijkse toetsing. Ook schade moet detecteerbaar en meetbaar zijn. Bij voorkeur worden vooraf uitspraken gedaan omtrent de duurzaamheid en repareerbaarheid.

#### 6.4 Beheer en onderhoud - Beoordeling - VTV

Periodiek beoordelen de beheerders hun waterkering op veiligheid met behulp van het VTV [8] (zie §3.8.1). De toetsing op de veiligheid bestaat uit het zo goed mogelijk bepalen van de sterkte van een kering en het vergelijken daarvan met de bij de wettelijke norm behorende belastingen. Bij het toetsen worden naast de eindscores volgens toetsingsregels ook de door

---

<sup>5</sup> In de beoordelingsrichtlijn BRL 9080 van 2007 wordt bijvoorbeeld gesteld dat de producteisen voor zetsteen van beton zijn vastgelegd in NEN 7024: 2005 Zetsteen van beton.

de beheerder opgedane kennis over en ervaring met het gedrag van de betreffende waterkering meegewogen bij het vaststellen van de uiteindelijke toetscore.

Voordat een bekleding wordt toegepast, zal eerst de sterkte van de bekleding worden aangetoond (zie §3.8.1). Op termijn kunnen de eigenschappen van de bekleding echter veranderen. Voor het zo goed mogelijk bepalen van de sterkte zullen daarom de relevante eigenschappen van de bekleding voorafgaand aan iedere zesjaarlijks toetsing vastgesteld worden. De relevante eigenschappen van de bekleding zijn bijvoorbeeld de laagdikte en karakteristieke materiaaleigenschappen. Enkele mogelijke methoden om de relevante eigenschappen te bepalen zijn:

- inventarisatie archief en beheerdersgegevens;
- visuele inspectie/niet-destructieve veldmetingen;
- veldmetingen/openbreken van de bekleding;
- laboratoriumonderzoek.

De toe te passen methode verschilt per bekleding en per situatie. Bijvoorbeeld voor het bepalen van de laagdikte van een traditionele steenzetting kunnen in sommige situaties archiefgegevens volstaan. De meeste toplaagelementen slijten namelijk niet of nauwelijks. Voor asfalt geldt dat wanneer visuele inspectie daartoe aanleiding geeft (bijvoorbeeld bij schade) de sterkte en stijfheid bepaald dient te worden door het nemen en onderzoeken van boorkernen.

De bepaalde sterkte wordt getoetst aan de bij de wettelijke norm behorende belastingen. Per bekledingstype zijn er verschillende faalmechanismen mogelijk, voor de toetsing hiervan worden verschillende toetssporen gevolgd [8]. Per toetsspoor wordt een beoordelingsschema doorlopen om te komen tot een score. Daarnaast vormt de beheerder zich een oordeel over de veiligheid. Op grond van deze gegevens wordt een veiligheidsoordeel gevormd: voldoet wel aan de norm of voldoet niet aan de norm.

#### 6.5 Verwijderbaarheid

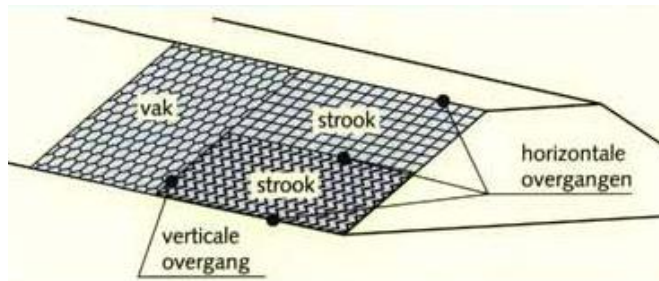
Aan het einde van de levensduur kan de bekleding verwijderd worden. Er zijn situaties waarbij de bekleding wordt hergebruikt of de bekleding een andere toepassing krijgt. Omdat aan het begin van de levensduur over het algemeen nog niet duidelijk is wat er aan het einde van de levensduur met de bekleding zal gebeuren, heeft het de voorkeur dat de bekleding te verwijderen/slopen is en bij voorkeur herbruikbaar is, bijvoorbeeld voor nieuwe dijkverbeteringen.

#### 6.6 Overgangen, aansluitconstructies en bochten

Op een waterkering zal uit kostenoverweging veelal niet overal dezelfde bekleding worden toegepast. Op een talud zijn er verschillende zones te onderscheiden (§3.1.2) en in de langsrichting van de dijk zal de toegepaste bekleding variëren. De volgende overgangen zijn mogelijk (zie Figuur 6-3):

- horizontale/verticale overgang: overgang tussen verschillende bekledingstypen: bijvoorbeeld in de golfklapzone wordt een dikkere toplaag van betonzuilen toegepast dan in de golfoploopzone;
- aansluiting: een overgang naar een andere constructie. Bijvoorbeeld de aansluiting van een bekleding naar een duin of kunstwerk.

Daarnaast moet de bekleding het tracé van de waterkering volgen. Dit kan betekenen dat de bekleding in een bocht wordt toegepast zoals in Figuur 6-3.



Figuur 6-3:

- a) verdeling van een waterkering in vakken en stroken [7]
- b) zetsteenbekleding in een bocht, Anna Jacoba-/Kramerspolder
- c) asfaltpenetratie bij overgang tussen verschillende blokken
- d) plaatsing van een teenconstructie

Door de afwijkende vorm van overgangen, aansluitingen en bochten kunnen grotere hydraulische belastingen optreden, onder andere door concentratie van belastingen en verhoogde turbulentie. Daarnaast kan de constructie zwakker zijn omdat de aanhechting met andere elementen minder is en belasting mogelijk meer grip heeft. Tevens kunnen de morfologische effecten groter zijn. Schade op waterkeringen begint hierdoor over het algemeen op één van deze plaatsen. Doorgaans wordt bij traditionele bekledingen een overgangsconstructie (zie Figuur 1-1: overgang van een hogere naar een kleinere zuil en overgang van het talud naar de teenconstructie) geplaatst om de sterkte op de overgang te waarborgen.

Overgangen, aansluitingen en bochten worden bij bepaalde bekledingen gezien als zwakke elementen in een bekleding. Voor een innovatieve bekleding dient bij voorkeur duidelijk te zijn of deze geschikt is voor bochten en wat de sterkte van de bekleding is bij overgangen en aansluitingen. Er dient bij voorkeur duidelijk te zijn welke overgang- en aansluitconstructies toegepast dienen te worden om de sterkte te waarborgen.

## 6.7

Duurzaam bouwen - milieueffecten van het materiaalgebruik

Duurzaam bouwen betekent milieuverantwoord bouwen. Dit is zodanig bouwen dat volgende generaties niet met kwalijke gevolgen worden opgescheept, maar ook kiezen voor de

oplossing die het minst milieubelastend is. Duurzaam bouwen is niet wettelijk verplicht. Het kan wel de acceptatie van een innovatief product vergroten. Het is aan de ontwikkelaar (eventueel in overleg met de dijkbeheerder, zie hoofdstuk 7) in hoeverre duurzaam bouwen en het milieueffect van het materiaal wordt uitgewerkt (er zitten wel wettelijke aspecten aan de waterbezwaarlijkheid van een product, zie hoofdstuk 4).

Duurzaam bouwen beschouwt niet alleen de aanleg maar de gehele levenscyclus van een materiaal (aanleg, instandhouding en na vervanging). De milieubelasting ontstaat bij het realiseren van de bekleding, maar ook tijdens de levensduur en erna. Eén van de aspecten die beoordeeld kan worden bij een nieuw materiaal is het milieueffect van de bekleding.

Het milieueffect kan beoordeeld worden op verschillende aspecten. Bijvoorbeeld op:

- biodiversiteit, de soorten en de habitats;
- lucht-, water-, en grondverontreiniging;
- beschikbare natuurlijke hulpbronnen (grondstoffen, water en energie);
- klimaatverandering en ozonlaag.

Er zijn verschillende manieren om de milieueffecten van een materiaal te beoordelen. Eén methode om de milieueffecten tijdens de gehele levensduur van een product te waarderen/kwantificeren is een LCA (Levens Cyclus Analyse). Bij de LCA worden bijvoorbeeld abiotische uitputting, klimaatverandering, ozonlaagaantasting, smogvorming, humane toxiciteit, ecotoxiciteit water, ecotoxiciteit terreestisch, verzuring en vermisting gekwantificeerd. De verschillende parameters worden beoordeeld met behulp van kentallen. Vervolgens kan op basis van de LCA een integrale afweging gemaakt worden voor de meest duurzame oplossing.

#### DuboCalc

Rijkswaterstaat ontwikkelde hiervoor het instrument DuboCalc. DuboCalc is een programma waarin ontwerpvarianten vergeleken kunnen worden. De meest voorkomende materialen kunnen worden geselecteerd. Vervolgens kan DuboCalc tonen welke materialen of elementen een grote milieubelasting hebben/geven. Hierbij wordt de milieubelasting over de hele levenscyclus bepaald [40] en [41]. Naast DuboCalc zijn er verschillende soorten LCA-software (wereldwijd) ontwikkeld waarmee de milieueffecten van een materiaal bepaald kunnen worden.

#### Keuzemodel kust- en oeverwerken

Voor traditionele bekledingen bestaat reeds een ontwerpondersteunend model voor de beoordeling van effecten op milieu, kosten- en LNC-aspecten [10] (§ 6.3). Onderdeel van het keuzemodel is een LCA-beoordeling. Het model laat zien hoe de traditionele bekledingen gewaardeerd worden op een aantal LCA-aspecten.

#### Cradle to Cradle

De filosofie achter Cradle to Cradle (wieg tot wieg) is gebaseerd op het weer sluitend maken van stofkringlopen. Daarbij is slim ontwerpen van producten van belang om zorg te dragen dat na gebruik alle materialen weer nuttig worden ingezet als grondstof in een ander product.

Cradle to Cradle gaat uit van de gedachte 'afval is voedsel' (waste equals food) waarbij producten aan het einde van hun biologische levensloop niet alleen biologisch afbreekbaar zijn, maar tevens weer voedsel genereren. Bij Cradle to Cradle zijn producten vanuit de technische kringloop niet alleen geschikt voor recycling (wat in de praktijk vaak downcycling is), maar ze zijn zodanig ontworpen dat de gerecycleerde producten hun functionele eigenschappen behouden en daardoor 'eeuwig' te hergebruiken zijn. Hierbij blijft het niet bij het beperken van het gebruik van grondstoffen (eco-efficiënt), maar worden eco-effectieve

producten ontwikkeld. Cradle to Cradle is uiteraard geen eis voor een bekleding, maar strekt wel tot aanbeveling.

#### CO<sub>2</sub>-voetafdruk

De koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>-) voetafdruk is een maat voor de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Het geeft de invloed aan van een activiteit of product op het milieu gemeten in broeikasgassen. Door de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van een innovatieve bekleding te bepalen wordt duidelijk wat de bijdrage van de bekleding aan het broeikas-effect is. Bij het bepalen van de voetafdruk kan onderscheid worden gemaakt in de uitstoot door materiaalverbruik, transport, aanleg en onderhoud.

#### Milieueffecten

De materialen die gebruikt worden als bekleding op waterkeringen dienen te voldoen aan de eisen die gesteld worden in het Besluit bodemkwaliteit en in het kader van de Wtw-vergunning (zie hoofdstuk 4 en bijlage II). In hoeverre voldaan wordt aan de (overige) aspecten is ter afweging.

### 6.8

#### Ruimtelijke kwaliteit – LNC-aspecten

De ruimtelijke kwaliteit is de aantrekkelijkheid en de functionaliteit van de leefomgeving, nu en in de toekomst. Een bekleding dient bij voorkeur bij te dragen aan deze aantrekkelijkheid en functionaliteit. Of anders gezegd, de bekleding moet passen in het landschap en het liefst mogelijkheden bieden voor multifunctioneel ruimtegebruik.

De aandacht voor ruimtelijke kwaliteit begon bij de aanbevelingen van commissie Boertien [23] en [22] waaruit onder andere de LNC-aspecten zijn voortgekomen.

Sindsdien is het begrip 'ruimtelijke ontwikkeling' verder ontwikkeld en naast de LNC-aspecten is er ook aandacht voor economische en sociaal-culturele aspecten van de omgeving. Het is nationaal beleid dat de LNC-waarden worden behouden of ontwikkeld, voor zover verenigbaar met het voldoen aan de vereiste veiligheid.

In het algemeen is het wenselijk dat een waterkering zodanig wordt ontworpen dat het past binnen de landschapsvisie, het bijhorende landschapsadvies en het gebruik. De kleuren en vormen van de bekleding hangen dan af van de kenmerkende eigenschappen van de omgeving en het gebruik. Ter voorbeeld twee type gebieden:

#### Natuurlijk gebied

Kenmerkende eigenschappen van een natuurlijk gebied kunnen onder andere zijn: veel en gevarieerde flora en fauna, een overwegend groen karakter, minder zichtbare menselijke interactie, meanderende wateren, natuurlijk reliëf en slingerende bospaadjes. Het gebruik van het natuurlijke gebied sluit hierop aan doordat het een veelal ecologisch functie heeft. De bekleding dient bij voorkeur te passen bij de kenmerkende eigenschappen en het gebruik. Vanuit het gebruik dient het geschikt te zijn voor flora en fauna: dit betekent dat de bekleding bij voorkeur veelal een ruw oppervlak heeft met de aanwezigheid van holten en spleten (zie §4.3.2). Vanuit de kenmerkende eigenschappen is de bekleding bij voorkeur groen, heeft een natuurlijke uitstraling en een glooiend talud. Een natuurlijke uitstraling kan bijvoorbeeld gegeven worden door de eigenlijke bekleding te camoufleren door een (dunne natuurlijke) bekleding of het toepassen van doorgroeiendoeken, -matten of -stenen.

#### Stedelijk gebied

Kenmerkende eigenschappen van een stedelijk gebied kunnen onder andere zijn: strak uiterlijk, weinig ruimte, functioneel ruimtegebruik, gecultiveerd, veel verlichting en toegankelijk. Het stedelijk gebied wordt voornamelijk door mensen gebruikt voor wonen,

werken en recreatie. De waterkering in het stedelijk gebied wordt doorgaans gebruikt voor recreatie of alledaagse bezigheden. Dit betekent dat de bekleding bij voorkeur egaal moet zijn (zie § 5.2) en niet te steil, zodat deze toegankelijk en begaanbaar is (fietsen, lopen). Een bekleding in stedelijk gebied kan grijs zijn maar ook kleurrijk, passend bij nabije bebouwing. Eventuele patronen zijn bij voorkeur geordend (strak) en passend bij directe omgeving. Bijvoorbeeld een kenmerkend rood - blauw gevlakt patroon op een gebouw naast de waterkering kan terug komen in de bekleding.

[23] is een handleiding voor inventarisatie en waardering van LNC-aspecten die is opgesteld na de aanbevelingen van commissie Boertien. In [10] wordt een 'ontwerpondersteunend model' gegeven voor onder andere de beoordeling van LNC-aspecten.

## 6.9

### Levensduur

#### Beoogde levensduur

Normaliter wordt een waterkering zodanig gebouwd dat deze een aantal decennia, doorgaans 50 à 100 jaar, in stand blijft. Gedurende deze tijd moet de bekleding haar functies vervullen. Dit hoeft echter niet per definitie te betekenen dat de bekleding ook 50 tot 100 jaar zijn functie zal vervullen. Een innovatieve dijkbekleding zal mogelijk tussentijds vervangen worden en toch nog een voordelig alternatief zijn.

In het algemeen dient de dijkbekleding zo min mogelijk te worden vervangen, omdat vervanging doorgaans kosten met zich mee brengt, voor overlast voor omwonenden zorgt, extra milieubelasting geeft, et cetera.

#### Aantoning levensduur

De bekleding zal voor een bepaalde tijd worden toegepast op een waterkering. Bij voorkeur moet daarvoor de levensduur van de bekleding bekend zijn. Innovatieve bekledingen bestaan echter over het algemeen nog maar een relatief korte tijd. Daarom is het moeilijk of zelfs onmogelijk te bewijzen dat een bekleding een leeftijd van bijvoorbeeld 50 of 100 jaar zal halen.

De ontwikkelaar dient daarom op geloofwaardige wijze aannemelijk te maken wat de levensduur van een bekleding is. Dit houdt (onder andere) in dat de ontwikkelaar de aspecten dient te identificeren die kritisch kunnen zijn voor de levensduur. Voorbeelden van aspecten die kritisch kunnen zijn: slijtage (bij de verwachte belastingen), gevoeligheid voor vorst-dooi, gevoeligheid voor UV-straling en vermoeiing. In onderstaande paragraaf worden enkele nadelige eigenschappen van traditionele bekledingen gegeven die de levensduur van een bekleding kunnen bepalen.

Het is voldoende wanneer de ontwikkelaar aannemelijk maakt dat een bepaalde levensduur voor een bekleding haalbaar is.

#### Nadelige verandering van eigenschappen in de tijd

In de loop van de tijd kunnen afhankelijk van de kwaliteit van een bekleding de eigenschappen veranderen. De eigenschappen van de bekleding kunnen dermate verslechteren, waardoor de bekleding haar functies niet meer kan vervullen. Wanneer bekend is dat de kwaliteit van een bekleding in de loop der tijd verslechtert, kan daarmee rekening worden gehouden bij het ontwerp.

Enkele voorbeelden van nadelige veranderingen in de tijd bij traditionele bekledingen zijn:

- slijtage, erosie of breuk bij losgestorte stenen: stromend water en golven kunnen, eventueel samen met meegevoerd materiaal zoals zand en vuil, een eroderende werking

hebben op losgestorte stenen. Er slijt dan gedurende de levensduur steeds een klein stukje van een steen af. Ook kunnen losgestorte stenen tijdens een golfaanval bewegen/rollen en daardoor beschadigen of zelfs breken. Door deze slijtage en breuk wordt het gewicht van de steen minder, waardoor deze mogelijk niet meer zwaar genoeg is om stabiel te zijn tijdens een zware storm;

- uitspoelen van de inwassing van een zuilenzetting. Door golfaanval kan de inwassing (deels) uitspoelen waardoor de interactie tussen de toplaagelementen minder wordt. Dit leidt tot afname van de sterkte;
- teruggang van sterkte in de tijd onder invloed van de inwerking van onder andere licht, zuurstof of water. Een voorbeeld hiervan is stripping van asfalt. Doordat het mineraal aggregaat in asfalt meer affiniteit heeft voor water dan voor bitumen, heeft water het vermogen om bitumen te verdringen. Hierdoor gaat de hechting tussen het bitumen en de steen verloren. Dit leidt tot afname van stijfheid en sterkte.

#### 6.10 Kosten

De kosten van een bekleding is een van de aspecten waar een dijkbeheerder op kan beoordelen bij zijn keuze voor een dijkbekleding. Bij de kosten kan onderscheid worden gemaakt tussen aanschafkosten, aanlegkosten, onderhoudskosten, verwijderingskosten, en overige kosten. De kosten kunnen ook bijdragen aan de maatschappelijke aanvaardbaarheid van het product: een goedkoper product wordt over het algemeen makkelijker geaccepteerd.

#### 6.11 Synthese

In Tabel 6-2 is een overzicht gegeven van de wensen en eisen die geen direct verband houden met de functie van de dijkbekleding: de aspecteisen en -wensen.



Tabel 6-2: Overzicht wensen en eisen van aspecten

aspect	eis/wens	gunstig	ongunstig
techniek			
uitvoering	de constructie moet uitvoerbaar zijn		
uitvoering - tijd		snel machinale plaatsing	langzaam handmatige plaatsing
uitvoering - moeilijkheidsgraad	moeilijkheid	simpel	ingewikkeld
uitvoering - toleranties	gevraagde toleranties	groot	klein
	plaatsingsnauwkeurigheid	groot	klein
uitvoering - controleerbaarheid	kwaliteit van de constructie moet gecontroleerd kunnen worden	eenvoudig	moeizaam
uitvoering - overlast		geen overlast	veel overlast
beheer en onderhoud	sterkte gedurende de levensduur	meetbaar	niet meetbaar
		weinig onderhoud	onderhouds-gevoelig
verwijderbaarheid		herbruikbaar	niet herbruikbaar
bochten, aansluit-constructies en overgangen		geen zwakke plaatsen simpele overgang/aansluitconstructies	zwakke plaatsen ingewikkelde/dure overgang/aansluit-constructies
milieueffecten			
	milieueffecten gedurende de gehele levensduur	weinig effect	veel effect
		cradle to cradle	
		kleine CO <sub>2</sub> voetafdruk	
ruimtelijke kwaliteit			
	bijdrage aan aantrekkelijkheid leefomgeving	hoog	laag
	bijdrage aan functionaliteit leefomgeving	hoog	laag
milieueffecten			
	effecten op het milieu	laag	hoog
levensduur			
	levensduur	lang	kort
kosten			
	kosten	laag	hoog
toelichting:			
	eis		
	wens		



## 7 Werkwijze

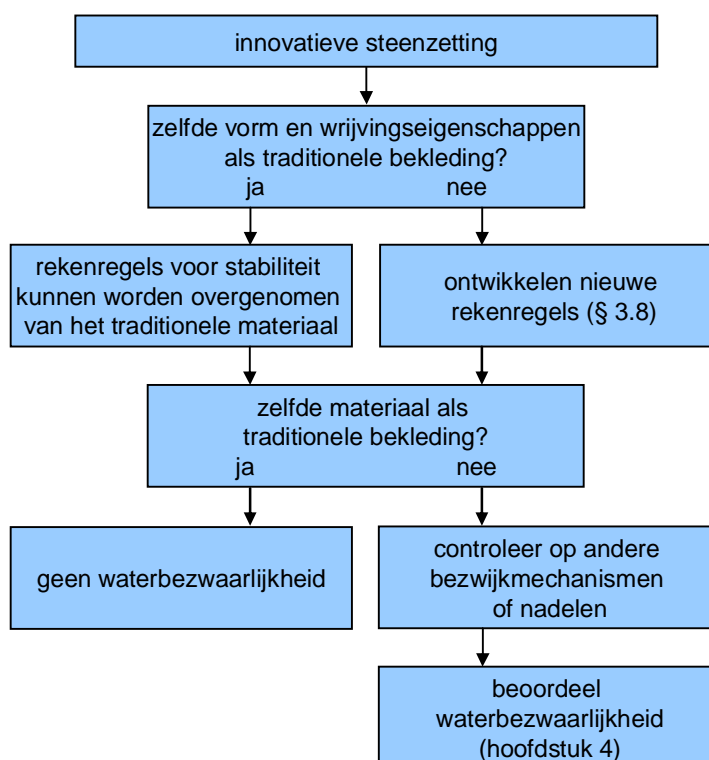
De ontwikkelaar zal een aantal stappen moeten doorlopen voordat hij het product daadwerkelijk op de waterkering mag toepassen. In § 7.1 is een stappenplan bedoeld voor de ontwikkelaar gegeven. In § 7.2 is een afvinklijst bijgevoegd voor de dijkbeheerder zodat hij (hierbij ondersteund door Rijkswaterstaat) kan controleren of alle stappen voldoende zijn doorlopen om het product te kunnen accepteren. In hoofdstuk 8 is ter voorbeeld het stappenplan gevolgd voor een traditioneel materiaal met een epoxy toplaag.

### 7.1 Stappenplan voor de ontwikkelaar

De volgende stappen kunnen worden doorlopen:

1. vaststellen toepassingsgebied;
2. controle op wettelijke eisen;
3. controle op overige aspecten;
4. dimensionering (toets- en ontwerpmethodede);
5. beoordeling bekleding door beheerders.

Het bovenstaande stappenplan is een plan dat doorlopen kan worden. Er zijn echter verschillende sporen mogelijk om tot een bekleding te komen die toegepast mag worden op een waterkering. Vanzelfsprekend is de volgorde van de stappen niet bindend. De dimensioneringsstap is als laatste stap voor de ontwikkelaar gesteld omdat deze vermoedelijk de grootste investering vergt.



Figuur 7-1: Voorbeeld stroomschema innovatieve steenzetting

De stappen die de ontwikkelaar kan doorlopen zijn afhankelijk van het type bekleding en van het type innovatie. Veelal zijn bepaalde stappen al doorlopen voor een vergelijkbaar product of zijn bepaalde stappen zoals gepresenteerd in dit rapport niet van belang. Ook is het mogelijk dat een innovatief materiaal een innovatieve verbetering op een bestaand product betreft. Dan behoeven alleen de stappen die van toepassing zijn op het innovatieve gedeelte doorlopen te worden. Welke stappen doorlopen moeten worden, is productspecifiek. Ter voorbeeld is in Figuur 7-1 een stroomschema opgenomen waar voor een innovatieve steenzetting verschillende sporen gevolgd kunnen worden afhankelijk van het type innovatie. Dit stroomschema functioneert slechts als voorbeeld voor een steenzetting en kan niet zonder meer toegepast worden op andere dijkbekledingen.

#### Stap 1: vaststellen toepassingsgebied

Bij het ontwikkelen van een bekleding is het goed om te beginnen met het vaststellen van het beoogde toepassingsgebied en daarmee de beoogde functies. Uit dit vastgestelde toepassingsgebied volgen de functionele eisen waaraan de bekleding dient te voldoen. Bij het vaststellen van het toepassingsgebied valt te denken aan:

- primaire functie:
  - type waterkering: als de bekleding toegepast gaat worden op een zeedijk moet deze bestand zijn tegen grote golven en zout water. Op een rivierdijk spelen de golven een kleinere rol en is ook stroming van belang (in hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van de eisen die volgen uit de primaire functie);
  - de zone op de waterkering waar de bekleding wordt toegepast (zie Figuur 3-3): de zone bepaalt bijvoorbeeld of de bekleding bestand moet zijn tegen golfklappen (golfklapzone) of slechts tegen oploop/overslag (golfoverslagzone);
- secundaire functies, waterbouwkundig en niet waterbouwkundig: Figuur 2-3 geeft een aantal mogelijke (civieltechnische) secundaire functies van een bekleding: als in de beoogde toepassing secundaire functies vervuld dienen te worden, zal hier bij de ontwikkeling rekening mee gehouden moeten worden. In hoofdstuk 5 worden de functionele eisen besproken die voortvloeien uit de secundaire functies.

#### Stap 2: controle op wettelijke eisen

De wettelijke eisen komen bij zowel het ontwikkelen van een dijkbekleding als bij de aanleg en beheer van een dijkbekleding naar voren. In dit traject kunnen de volgende punten worden beoordeeld:

- vanuit diverse wetten en richtlijnen worden eisen gesteld aan de kwaliteit en effecten van de toe te passen materialen. Zie voor een overzicht hoofdstuk 2 en bijlage II. Vanuit deze wettelijke kaders moet nagegaan worden of de toe te passen materialen voldoen aan hetgeen gesteld is;
- er moet inzicht worden verkregen in de benodigde vergunningen voor het aanleggen en beheren van de dijkbekleding. De locatiespecifieke omstandigheden zijn hierbij van belang. Belangrijke aspecten hierbij zijn: de ligging in natuurgebieden, het voorkomen van beschermde plant- en diersoorten en de specifieke eigenschappen van de waterkering;
- om de benodigde vergunningen te krijgen, dienen de werkzaamheden en de mogelijke effecten hiervan in beeld gebracht te worden. Om de effecten acceptabel te krijgen, moeten mogelijk aanpassingen aan het ontwerp gemaakt worden;
- overleg met het bevoegd gezag is noodzakelijk om voornemen, ingreep en effecten te bespreken, zodat de haalbaarheid vergroot wordt.

#### Stap 3: controle op overige aspecten

De volgende aspecten dienen ten minste te worden aangetoond:

- uitvoering: het plaatsen van een bekleding moet uitvoerbaar zijn (§6.1). De ontwikkelaar dient daarom duidelijk te maken hoe een bekleding geplaatst kan worden;
- levensduur: de ontwikkelaar dient aannemelijk te maken wat de minimale levensduur van de bekleding is (§6.8);
- milieuhygiënisch aspecten: de ontwikkelaar dient voldoende aan te tonen dat de bekleding geen negatieve effecten heeft op het milieu (hoofdstuk 4);
- beheer en onderhoud: de minimum eis is dat het onderhoud proportioneel is. Daarnaast dienen kritieke parameters bepaald te kunnen worden voor toetsing en onderhoud (§6.2 en § 6.3);
- controleerbaarheid: de ontwikkelaar dient een methode te geven waarmee aangetoond kan worden dat de bekleding ook de werkelijke beoogde sterkte heeft (§6.1.5, bijvoorbeeld: is de werkelijke beoogde dikte werkelijk aangelegd en hebben de toegepaste materialen de juiste specificaties?). Indien nodig kunnen hiervoor bestaande certificatieschema's (zie §6.2.3) worden gebruikt of nieuwe worden ontwikkeld.

Aspecteisen/wensen (zie hoofdstuk 6) houden niet direct verband met de functie, maar zijn wel belangrijk en kunnen in deze stap geïnventariseerd worden. De aspecten dienen veelal ter afweging, het zijn niet altijd harde eisen. Wanneer een dijkbeheerder een afweging wil maken op basis van aspecten kan beschikbare informatie voor een bekleding zeer nuttig zijn. Bij ontbreken van deze informatie zal de dijkbeheerder zelf een inschatting moeten maken of er veiligheidshalve van uitgaan dat aan een aspecteis/wens niet wordt voldaan.

De aspecten die leiden tot wensen dienen in deze stap bij voorkeur inzichtelijk gemaakt te worden.

#### Stap 4: dimensionering (toets- en ontwerpmethodode)

De bekleding moet bestand moeten zijn tegen de maatgevende belasting die hoort bij de beoogde toepassing (stap 1). De bekleding dient een bepaalde sterkte te hebben en deze sterkte dient aangetoond te worden. In §3.8.4 is besproken hoe de sterkte van een bekleding aangetoond kan worden.

Bij het ontwerpen van een waterkering worden de vereiste dimensies van de bekleding bepaald. Hiertoe kan een ontwerpmethodode worden opgesteld waarmee de vereiste dimensies met een bepaalde veiligheidsmarge kunnen worden bepaald. In de ontwerpmethodode wordt de relatie tussen de sterkte van de bekleding en de belasting vastgesteld. Bij de toetsmethode dient duidelijk te zijn wat de sterkte van een bekleding is bij aanwezige dimensies. In de toetsmethode is de veiligheidsmarge doorgaans kleiner dan in de ontwerpmethodode. Een toelichting op het verschil tussen ontwerp en toetsen is opgenomen §3.8.1.

Om te komen tot een ontwerp/toetsmethode kunnen de volgende stappen worden doorlopen:

- sterkte aantonen: in §3.8.4 is een aantal methoden gegeven om de sterkte aan te tonen. Met behulp van deze of een combinatie van deze methoden kunnen ontbrekende parameters bepaald worden en kan worden aangetoond welke belastingen mogelijk zijn voor bepaalde dimensies van een bekleding;
- rekenmethodiek opstellen: op basis van de aangetoonde sterkte kan een rekenmethodiek worden opgesteld. In deze methodiek wordt de verhouding tussen belasting en sterkte vastgelegd. Doorgaans wordt de rekenmethodiek zo opgesteld dat bij een gegeven belasting de dimensies voor de bekleding bepaald worden waarbij de bekleding zeker niet zal bezwijken (conservatieve aanpak). De rekenmethodiek kan eenvoudig zijn. Bijvoorbeeld: een bekleding van minimaal 15 centimeter dikte voldoet voor een golfhoogte van 1 meter. De rekenmethodiek kan ook zeer uitgebreid zijn waarbij de

benodigde dimensies afhangen van tal van parameters (golfperiode, golfhoogte, golfsteilheid, aantal golven, taludhelling, porositeit, dikte onderlaag, et cetera). Hiervoor is uiteraard veel meer onderzoek vereist.

#### Stap 5: beoordeling bekleding door beheerders

De dijkbeheerder is verantwoordelijk voor zijn waterkering. Hij dient zorg te dragen voor zowel de aanleg als het onderhoud van de waterkering. Daarnaast dient hij bij de wettelijke periodieke toetsing aan te kunnen tonen dat de waterkering voldoet aan de wettelijke norm. De dijkbeheerder zal bepalen/beoordelen of een innovatieve dijkbekleding met de voorgestelde toets/rekenmethodiek voldoet aan de eisen en toegepast kan worden op zijn waterkering.

De waterkwaliteitsbeheerder is verantwoordelijk voor de kwaliteit van het water. De waterkwaliteitsbeheerder zal in geval van emissies naar het oppervlaktewater beoordelen of een innovatieve bekleding voldoet aan de eisen betreffende waterbezwaarlijkheid en wel of geen vergunning afgeven (zie hoofdstuk 4).

De beheerders (dijkbeheerder en waterkwaliteitsbeheerder) kunnen zich bij de beoordeling van een innovatieve bekleding laten adviseren door deskundigen vanuit hun eigen organisatie of door externe organisaties (RWS-WVL of ENW). Er is geen stempel van goedkeuring vereist door de RWS-WVL of ENW. De beheerders bepalen uiteindelijk of een bekleding kan worden toegepast.

### 7.2

#### Afvinklijst voor de dijkbeheerder

De dijkbeheerder kan controleren of de stappen die de ontwikkelaar heeft doorlopen voldoende zijn om tot toepassing van een bekleding over te gaan. In Tabel 7-1 staat een mogelijke afvinklijst van stappen die de ontwikkelaar in ieder geval voldoende heeft moeten doorlopen. Daarnaast is er een aantal aspecten (zie hoofdstuk 5) die leiden tot wensen en soms worden verheven tot eisen. Deze zijn niet opgenomen in deze afvinklijst, dit is door de dijkbeheerder zelf in te vullen.

Tabel 7-1: Afvinklijst voor de dijkbeheerder

onderdeel	afvinkeis	voldoende/ onvoldoende
<b>wettelijke eisen</b>		
	Is de voorgestelde dijkbekleding toegestaan binnen de vigerende kaders?	
	Is er zicht op dat het dijkverbeteringplan goedgekeurd wordt door de provincie?	
	Zijn de benodigde vergunningen voor aanleg en beheer in beeld?	
<b>aspecten</b>		
uitvoerbaarheid	Is de uitvoeringsmethode duidelijk?	
	Is de uitvoeringsmethode haalbaar qua: benodigde tijd; benodigd materieel?	
beheer en onderhoud	Is duidelijk hoeveel en op wat voor manier onderhoud gepleegd dient te worden?	
	Is het voorgestelde onderhoud haalbaar?	
levensduur	Is de beoogde levensduur van het materiaal op geloofwaardige wijze aangetoond?	
milieuhygiënisch aspecten	Is in voldoende mate aangetoond dat de bekleding geen negatieve effecten geeft op de omgeving?	
controleerbaarheid	Is er een methode beschikbaar om aan te tonen dat de gemaakte bekleding de juiste dimensies en eigenschappen heeft?	
	Zijn er kwaliteitsverklaringen (zie §6.2.3) met betrekking tot dit product?	
dimensionering/ aantoonbaarheid	Is er een geschikte betrouwbare rekenmethodiek/ontwerpmethode op basis waarvan de benodigde dimensies bepaald kunnen worden?	
	Is er een geschikte betrouwbare toetsmethode?	





## 8 Voorbeeld: Breuksteen

In dit hoofdstuk wordt het stappenplan doorlopen, zoals beschreven in hoofdstuk 7. Het materiaal waarmee het stappenplan doorlopen wordt, is 'breuksteen met een groene epoxy toplaag (hars, chroom-3)'. Opgemerkt wordt dat het hier om een hypothetisch voorbeeld gaat dat niet geheel is uitgewerkt. Dit hoofdstuk is alleen ter illustratie hoe de stappen zoals gesteld in hoofdstuk 7 doorlopen kunnen worden.

Breuksteen is een traditioneel materiaal dat al veel wordt toegepast als dijkbekleding. Een aantal stappen is in het verleden reeds uitgevoerd om deze bekleding toe te mogen passen. Aan deze traditionele bekleding is een groene epoxy toplaag toegevoegd voor de landschappelijke kwaliteit.

### Stap 1: vaststellen toepassingsgebied

Het materiaal breuksteen heeft op voorhand al een aantal karakteristieke kenmerken. Bijvoorbeeld dat het materiaal zwaar is, hoekig en zowel boven als onder water is te plaatsen. Maar ook dat het materiaal in verschillende grootten/gewichten beschikbaar is en afhankelijk van het gewicht tegen grote of kleine hydraulische belastingen bestand is. Dit laatste maakt dat het beoogde toepassingsgebied erg breed is. Het kan toegepast worden op elke waterkering en in elke zone, zowel boven als onder water. Voor veel secundaire functies is het materiaal echter minder geschikt. Door er een groene epoxy toplaag aan toe te voegen wordt beoogt bij te dragen aan de landschappelijke kwaliteit van de waterkering.

Tabel 8-1 geeft een overzicht van mogelijke functies van een waterkering. Door per functie aan te geven of de bekleding deze kan vervullen, wordt het beoogde toepassingsgebied duidelijk.

Het beoogde toepassingsgebied van de bekleding is voor de primaire functie nog heel breed (toepasbaar op alle zones en alle type waterkeringen). Dit kan ingekaderd worden door de bekleding alleen toe te willen passen in bijvoorbeeld de golfklapzone, omdat daar de bekleding uitermate geschikt voor is.

Een belangrijke eis die daar uit volgt is dat de bekleding bestand moet zijn tegen golfbelasting. Andere belastingen zoals stroming, waterstand en vervormingen (zie Figuur 3-1) kunnen ook eisen geven, maar worden in dit hoofdstuk niet behandeld.

Voor secundaire functies is deze bekleding beperkt geschikt, deze toepassingen kunnen eventueel later worden onderzocht.

### Stap 2: controle op wettelijke aspecten

Van de wettelijke aspecten uit §7.1 is met name het eerste punt van belang in het ontwikkelstadium van een bekleding (over de overige punten dient wel nagedacht te worden, maar deze zijn locatiespecifiek):

- vanuit diverse wetten en richtlijnen worden eisen gesteld aan de kwaliteit en effecten van de toe te passen materialen. Vanuit de wettelijke kaders moet nagegaan worden of de toe te passen materialen voldoen aan hetgeen gesteld is.

Tabel 8-1: Overzicht mogelijke toepassingsgebied

functie	van toepassing	reden/opmerking
primaire functies		
zonering	op alle zones	geen zone waar het onmogelijk is deze bekleding toe te passen
type waterkering	op alle type waterkeringen	geen type waterkering waar het onmogelijk is deze bekleding toe te passen
secundaire functies waterbouwkundig		
reductie van golfoploop	ja	stortsteen is een materiaal wat door de hoekige grillige vormen en grote doorlatendheid de golfoploop significant zal reduceren
waterdichtheid van de kering	nee	het materiaal breuksteen zal hier niet aan voldoen, want het is een zeer open constructie
beperken van onderhoud	mogelijk	afhankelijk van de te kiezen steengrootte zal het onderhoud beperkt worden
verhogen macrostabiliteit	nee	breuksteen is een zwaar materiaal wat over het algemeen de macrostabiliteit niet zal verhogen
secundaire functies niet waterbouwkundig		
verkeer	nee	het materiaal breuksteen leent zich niet voor deze toepassing
recreatie	nee	Idem
wonen	nee	Idem
agrarische medegebruik	nee	Idem
ecologie	ja	breuksteen biedt door zijn vele holtes en groot contactoppervlak met water goede mogelijkheden

Onderstaand wordt voor de belangrijkste wettelijke kaders, zoals gesteld in hoofdstuk 2 en bijlage II, besproken wat relevant is voor breuksteen.

Wettelijke eisen aan bekledingen:

- Waterwet, eisen met betrekking tot aanleg, wijziging, beheer en onderhoud van waterkeringen (de bekleding moet onder andere voldoen aan de veiligheidsnorm): in stap 4 van het stappenplan wordt de dimensionering (toetsing en ontwerp) van het materiaal besproken. Deze dimensionering bepaalt voor welke hydraulische belasting de bekleding voldoet;
- eisen met betrekking tot bescherming van het oppervlaktewaterlichaam:
  - (geen verontreiniging van de bodem): zuiver breuksteen is over het algemeen niet bodembedreigend, zal niet uitlogen en ook niet afbreken in bodembedreigende stoffen. De epoxy toplaag kan wel een negatieve invloed hebben. Dit wordt besproken in stap 3 bij waterbezwaarlijkheid;

- (bescherming kwaliteit oppervlaktewater): zuiver breuksteen zal niet significant bijdragen aan belasting op het milieu. De epoxy toplaag kan wel een negatieve invloed hebben. Dit wordt besproken in stap 3 bij waterbezwaarlijkheid.

### Stap 3: controle op overige aspecten

In Tabel 6-2 is een overzicht gegeven van aspecteisen en -wensen. Een gedeelte van deze tabel komt terug in onderstaande opsomming. In deze opsomming staan de aspecten die ten minste moeten worden aangetoond. Er staat in hoofdstuk 6 ook een aantal aspecten ter afweging voor de ontwikkelaar. Deze komen hier niet terug.

1. uitvoering: het plaatsen van een bekleding moet uitvoerbaar zijn. Een breuksteen constructie is uitvoerbaar. Een breuksteen talud bestaat uit meerdere lagen breuksteen (toplaag en filterlagen) en eventueel een geotextiel (zie Figuur 3-7). Als eerste zal het talud van de kern geprofileerd moeten worden op de juiste helling en voldoende vlak. Vervolgens kunnen de verschillende graderingen breuksteen laag voor laag worden aangebracht. Bij de kleinste graderingen (de filterlagen) is het niet praktisch om steen voor steen te plaatsen (tijdrovend). Hier kan daarom beter in bulk geplaatst worden. Vervolgens kan met een kraan de filterlaag in het juiste profiel gebracht worden. Ten slotte kan de toplaag steen voor steen geplaatst worden. Iedere individuele steen wordt geplaatst met een grijper (dit kan zowel vanaf het land als vanaf het water). Een breuksteenconstructie is uitvoerbaar, mits het juiste materieel beschikbaar is, bijvoorbeeld een kraan met een grijper (eventueel met een GPS-systeem). Er wordt niet verwacht dat plaatsing disproportioneel veel tijd in beslag zal nemen. De plaatsing van breuksteen kan eventueel onderbouwd/geoptimaliseerd worden met schaalmodelonderzoek of door het aanleggen van een proefvak. Dit geeft ook zekerheid over de methode, informatie over de snelheid van plaatsing en ervaring.
2. controleerbaarheid: er dient een methode te zijn waarmee kan worden aangetoond dat de geplaatste bekleding de juiste dimensies en eigenschappen heeft. Enkele kritieke parameters in het ontwerp van een breuksteenbekleding zijn: de taludhelling, de laagdikte, het gewicht en de kwaliteit van de steen. Het is daarom van belang vast te kunnen stellen of de geplaatste bekleding voor deze parameters de waarden heeft zoals die in het ontwerp zijn bepaald:
  - taludhelling en laagdikte: bij het ontwerp van een breuksteen talud wordt uitgegaan van een laagdikte van tweemaal de steendiameter ( $D_n50$ ) en er wordt een taludhelling bepaald. Er dient aangetoond te worden dat deze laagdikte en de bepaalde helling op het gebouwde talud ook daadwerkelijk aanwezig zijn. Dit kan worden gedaan door voor iedere laag die wordt aangebracht een in- en een uitmeting te doen. Door deze van elkaar af te trekken is de laagdikte bekend en kan deze worden getoetst met de ontworpen laagdikte. Bijvoorbeeld in [29] wordt een uitleg gegeven van in- en uitmeetmethoden en bijhorende toleranties;
  - iedere individuele steen moet een bepaald gewicht en afmetingen hebben. Om dit te bewijzen kan bijvoorbeeld iedere steen of een representatief gedeelte van de stenen worden gemeten en gewogen;
  - het gesteente moet een bepaalde sterkte hebben (het is niet de bedoeling dat een steen splijt bij geringe belasting). Hiervoor zijn in de loop der tijd tal van testen ontwikkeld die de sterkte van het gesteente bepalen, zie [43] en [20].
  - het product moet voldoen aan vigerende kwaliteitseisen. Als bewijs kan hiervoor een kwaliteitsverklaring op basis van bijvoorbeeld de beoordelingsrichtlijn van het KOMO® productcertificaat voor Waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken (BRL 9312) worden gebruikt.

3. waterbezwaarlijkheid: breuksteen zelf is een natuurlijk materiaal waarbij vervuiling door chemische stoffen niet aan de orde is. Wel is uitloging van in het gesteente aanwezige mineralen mogelijk. Er wordt echter niet verwacht dat deze schade toebrengen aan het milieu. De epoxy toplaag is mogelijk wel waterbezwaarlijk:
  - in het geval van met epoxy gecoate breuksteen moet de waterbezwaarlijkheid worden getest, zoals omschreven in hoofdstuk 4 van deze richtlijn. Chroom(III) is het component dat voorkomt in epoxy en dat in dit voorbeeld getoetst moet worden. In deze paragraaf is het stappenplan beschreven om de waterbezwaarlijkheid van deze stof te testen.

Ten eerste moet het gebruik van de verontreinigende stof worden geoptimaliseerd. In de voorbeeldsituatie moet zo min mogelijk epoxy worden gebruikt, zodat uitloging ook minimaal is. Hiernaast is het aan te raden om de epoxy in een vroeg stadium aan te brengen op de breuksteen, bijvoorbeeld in een fabriek (en niet op de waterkering) waar een teveel aan epoxy opgevangen kan worden in een lekbak. Op deze manier wordt de kans aanzienlijk verkleind dat epoxy in het water terecht komt.

Ten tweede moet de waterbezwaarlijkheid getoetst worden met behulp van de Algemene Beoordelingsmethodiek (ABM). Chroom(III) staat niet bekend als mutageen of carcinogeen in tegenstelling tot Chroom(VI). De acute toxiciteit van de stof bedraagt 3,3 mg/l. De stof valt in de ABM categorie A. Dit betekent dat de beste techniek moet worden toegepast om uitloging te beperken (in potentie schadelijke emissies). In praktische zin betekent het dat in dit geval voor deze toepassing aandacht moet worden besteed of Chroom(III) vrijkomt, hoe dit kan worden geminimaliseerd en of de toepassing al dan niet door de waterbeheerder kan worden toegestaan.

Omdat de epoxy meerdere componenten bevat, moet vervolgens een Totaal-Effluent Beoordeling worden uitgevoerd om te bepalen wat het gecombineerde effect is van stoffen op een organisme die in de epoxy zijn gebruikt en of er sprake is van een snelle uithardingstijd van de (individuele) componenten tot de uiteindelijke hars. Een eerste stap hierin is navraag doen bij de fabrikant van de epoxy, omdat er mogelijk al bioassays zijn uitgevoerd. De resultaten van het eventueel eerder uitgevoerde onderzoek kunnen dan gebruikt worden. Tot slot dient een emissie-immissietoets te worden uitgevoerd. Hierbij speelt de achtergrondwaarde van het ontvangende oppervlaktewater een belangrijke rol. Daarnaast is belangrijk of het ontvangende water zout of zoet is. Ook de aard van de verontreiniging, in dit geval de dijkbekleding, speelt mee in het uitvoeren van de emissie-immissietoets. Dit hangt in deze situatie onder andere af van de uitvoeringsmethode. De uitloging en daarmee de verontreiniging is immers verschillend voor een epoxy laag die in de fabriek wordt aangebracht ten opzichte van aanbrenging van de epoxy laag op de waterkant. Contact met de waterbeheerder is onvermijdelijk om te komen tot goede uitvoering van de emissie-immissietoets.

4. beheer en onderhoud: het vereiste onderhoud mag niet disproportioneel groot zijn en kritieke parameters moeten te bepalen zijn voor toetsing en onderhoud. Het vereiste onderhoud is afhankelijk van de toegepaste steengrootte en is daarom vooraf te bepalen: een relatief kleine gradering vereist meer onderhoud. Wanneer de steengrootte voldoende is, moet er eventueel onderhoud gepleegd worden na een zware storm. Onderhoud is eenvoudig: stenen kunnen worden aangevuld of het talud kan worden hergeprofileerd. Proeven kunnen eventueel aantonen hoeveel onderhoud nodig is na een bepaalde storm.
5. levensduur: er moet aannemelijk worden gemaakt wat de minimale levensduur van de bekleding is. De levensduur van een steen is in het algemeen significant groter

dan de levensduur van de constructie. Enkele kritische aspecten die van invloed kunnen zijn op de levensduur zijn slijtage/erosie, waardoor de stenen in gewicht afnemen en er bij basaltblokken sprake kan zijn van zonnebrand (zie §3.5).

Omdat het gewicht van stenen in de loop van de tijd door erosie/ slijtage af kan nemen, dienen stenen bij aanleg een iets groter gewicht/diameter te hebben zodat ook aan het einde van de levensduur het gewenste steengewicht aanwezig is. De afname van het steengewicht is onder andere afhankelijk van de steensoort. Voor de gewichtsafname van stenen zijn enkele rekenregels ontwikkeld [20].

#### Stap 4: dimensionering (toets- en ontwerpmethode)

In stap 1 is aangegeven dat een breuksteenbekleding ook geschikt is voor toepassing in de golfklapzone. Een belangrijke eis die daar uit voortkomt, is dat de bekleding bestand moet zijn tegen golfbelasting. In deze stap wordt uitgelegd hoe de sterkte van de bekleding tegen deze belasting kan worden vastgesteld. Op basis van de aangetoonde sterkte kan een toets- en ontwerpmethode worden opgesteld. In stap 4a wordt besproken hoe tot de ontwerpmethode wordt gekomen en in stap 4b wordt de toetsmethode toegelicht.

##### *Stap 4a: ontwerp*

In §3.8.4 wordt een aantal sporen gegeven die kunnen leiden tot de gewenste aantoonbaarheid van de sterkte:

- vergelijking met bestaande systemen;
- modelonderzoek;
- aanleggen van proefvakken;
- afleiden van rekenmethode via theoretische weg;
- numerieke modellen.

Voor het materiaal 'breuksteen met een groene epoxy toplaag' kan het eerste spoor 'vergelijking met bestaande systemen' worden toegepast. Hierbij wordt de in §3.8.4 beschreven systematiek gevolgd. In §3.1 wordt een categorisering gegeven van traditionele materialen. Het beschouwde innovatieve materiaal ('breuksteen met epoxy toplaag') is in te delen in de categorie 'losgestorte materialen'. Omdat 'breuksteen met epoxy toplaag' vrijwel dezelfde eigenschappen heeft als 'traditioneel breuksteen' kunnen de formules en modellen die ontwikkeld zijn voor traditioneel breuksteen als uitgangspunt gebruikt worden voor de ontwerpmethode voor het innovatieve materiaal. Het innovatieve materiaal is echter niet voor 100% gelijk aan het traditionele materiaal en daarom wordt het volgende onderzocht:

1. in hoeverre valt het materiaal binnen de reikwijdte van de rekenregel/model?
2. worden alle faalmechanismen beoordeeld?
3. welke parameters verschillen met het reeds bestaande materiaal?

1. Het materiaal 'breuksteen met een epoxy toplaag' is vrijwel gelijk aan het traditionele breuksteen. Het enige verschil zou de onderlinge wrijving van de stenen kunnen zijn. Daartoe moeten enkele wrijvingsproeven worden uitgevoerd. Als blijkt dat de wrijvingscoëfficiënt gelijk is aan normale breuksteen, kunnen de rekenregels die zijn opgesteld voor traditioneel breuksteen worden gebruikt voor 'breuksteen met een epoxy laag'.

2. De belangrijkste faalmechanismen die aan de orde zijn voor losgestorte materialen, zijn stabiliteitsverlies en materiaaltransport (zie hoofdstuk 3). Deze faalmechanismen gelden ook voor 'breuksteen met een epoxy toplaag'. Bij een innovatief materiaal zijn er faalmechanismen mogelijk die bij een traditioneel materiaal niet voorkomen. Er zal daarom

altijd nagedacht moeten worden over mogelijke andere faalmechanismen. In dit geval worden voor het materiaal 'breuksteen met een epoxy toplaag' geen andere faalmechanismen verwacht.

3. Enkele (karakteristieke) parameters van het materiaal 'breuksteen met een epoxy toplaag' kunnen mogelijk verschillen met de parameters van traditioneel breuksteen. Voor de onderstaande parameters is een verschil mogelijk. Voor iedere parameter wordt het effect voor de bestaande rekenregels beschouwd:

- wrijvingseigenschappen: het oppervlak van breuksteen met een epoxy toplaag is mogelijk gladder dan traditioneel breuksteen. Wrijvingsproeven kunnen dit uitwijzen;
- soortelijk gewicht: het soortelijk gewicht van de epoxy toplaag is mogelijk anders dan het soortelijk gewicht van steen. Er wordt vanuit gegaan dat de epoxy toplaag dun is en daarom geen invloed heeft op het gewicht van een individuele steen. Bovendien is het soortelijke gewicht een input parameter in de ontwerpformules voor stabiliteit.

Voor dit voorbeeld wordt aangenomen dat de wrijvingsproeven geen bijzonderheden hebben opgeleverd. Conclusie is dat geen van bovengenoemde parameters dermate verschilt van traditioneel breuksteen dat het invloed heeft op de ontwerpmethoden die normaliter wordt gehanteerd voor traditioneel breuksteen.

De kritieke parameters voor de stabiliteit van breuksteen zijn de taludhelling, het soortelijk gewicht en de steendiameter (zie Tabel 3-2). Voor deze kritieke parameters (en andere parameters) is er geen of beperkt verschil tussen breuksteen met of zonder epoxy toplaag. Ook worden er geen andere faalmechanismen verwacht. De conclusie voor de ontwerpregels voor breuksteen met een epoxy toplaag is daarom dat de bestaande rekenregels voor breuksteen kunnen worden toegepast. Deze rekenregels zijn bijvoorbeeld te vinden in [20], [38] en [39].

*Stap 4b: toetsing:* naast een methode waarmee een bekleding kan worden ontworpen, dient er een methode beschikbaar te zijn waarmee de bekleding getoetst kan worden. De ontwikkelaar moet een methode geven waarmee tijdens de zesjaarlijkse toetsing de bekleding kan worden getoetst. Belangrijk is dat de toetsmethode aansluit op de systematiek van het VTV waarin rekenregels voor de eenvoudige toetsing, de gedetailleerde toetsing en eventueel voor de geavanceerde toetsing worden gegeven (zie ook §3.8.2). Voor breuksteen onder golfaanval is de stabiliteitsrelatie in het VTV weergegeven. In de toetsing van breuksteen wordt de schade bepaald die zal ontstaan tijdens toetsomstandigheden (hydraulische belasting die variëren van eens in de 1.250 tot eens in de 10.000 jaar van voorkomen). De schade wordt weergegeven met de schadeparameter  $S$ . Onder een bepaalde waarde van het schadegetal  $S$  is het oordeel 'goed', bij andere waarden is het oordeel 'twijfelachtig' of 'onvoldoende'. Voor alle drie de gevallen dient toegelicht te worden wat de verdere procedure is:

- goed: als het resultaat 'goed' is dan hoeft er in het algemeen niets te gebeuren;
- twijfelachting: als het resultaat 'twijfelachtig' is, dan kan 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 uitsluitel worden verkregen door middel van schaalmodelonderzoek;
- onvoldoende: bij 'onvoldoende' is de bekleding afgekeurd en dienen er maatregelen te worden genomen.

Omdat de kritieke parameters en faalmechanismen voor 'breuksteen met epoxy toplaag' gelijk zijn aan het 'traditioneel breuksteen' kunnen dezelfde toetsingsregels worden gehanteerd.

Stap 5: beoordeling bekleding door beheerders

De beheerder beoordeelt de verschillende aspecten en geeft de uiteindelijke toestemming.





1. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad Keuzemethodiek Dijk- en oeverbekledingen. Deel I en II, 1988.
2. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Grondslagen voor Waterkeren, Delft, januari 1998.
3. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding, Delft, 1998.
4. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Grasmatt als dijkbekleding, Delft, 1999.
5. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad Zee- en Meerdijken + basisrapport, Delft, december 1999.
6. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren, Delft, november 2002.
7. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Steenzettingen, Delft, december 2003.
8. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006) voor de derde toetsronde 2006-2011, 2007. Let op, wordt periodiek herzien.
9. Expertise Netwerk Waterveiligheid, Leidraad Rivieren, Delft, april 2007. Bij deze leidraad horen de volgende ENW Technische Rapporten: Technisch Rapport Ontwerpbelastingen, Technisch Rapport Ruimtelijke Kwaliteit en Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.
10. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Keuzemodel kust- en oeverwerken, 2000, (<http://www.helpdeskwater.nl>).
11. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), leidraad cementbetonnen dijkbekledingen, rapport 119, CUR, 1984.
12. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/ Rijkswaterstaat, Voorbeeldenboek kosteneffectieve maatregelen in de Waterbouw, 2005.
13. SenterNovem, Criteria voor duurzaam inkopen van Waterbouwkundige Constructies, 2009.
14. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006 - 2011 (HR2006), ISBN 978-90-369-5761-8, Den Haag, september 2007. Let op, wordt periodiek herzien.
15. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Handreiking constructief ontwerpen, onderzoek en berekening naar het constructief ontwerp van de dijkversterking. 1994.
16. Klein Breteler, M., Black box model voor afschuiving bij steenzettingen. H4635, WL | delft hydraulics, Delft, 2007.
17. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Handboek Natuurvriendelijke Oevers. zes delen. rapporten 200-205, CUR, 2000.
18. Pilarczyk, K., Dikes and Revetments. A.A. Balkema (publisher), 1998.
19. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers. CUR rapport 156, 1992.
20. CIRIA, CUR, CETMEF, Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), Published by C683, CIRIA, London, 2007.

21. L.H. Holthuijsen, *Waves in oceanic and coastal waters*, ISBN: 9780521860284, Cambridge University Press, 2007.
22. S.A. Hughes, *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*, Advanced Series on Ocean Engineering. Vol. 7. World Scientific, 1995.
23. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten, een methode voor beschrijving en betekenis-toekenning van de LNC-aspecten in de planvorming van de dijkversterking*. Delft, 1994.
24. Hubert Chanson, *The Hydraulics of Open Channel Flow – An Introduction*. ISBN 0-470-36103-4, Wiley, New York, 1999. <http://www.arnoldpublishers.com>.
25. Nortier, I.W. en H. Van der Velde, *Toegepaste Vloeistofmechanica*. Stam Techniek, 1994.
26. Nederlands Normalisatie Instituut, NEN 3651, *Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken*, Delft, augustus 2006.
27. U.S. Army Engineer Research and Development Center, *Coastal Engineering Manual (CEM)*. 2003.
28. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), *Filters in de waterbouw*. rapport 161, CUR, 1993.
29. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), *Geotextielen in de waterbouw*. rapport 174, CUR, 1995.
30. IGWR, GHR, VBKO, *Maak- en Meetnauwkeurigheden bij de uitvoering van baggerwerken en steenbestortingen*. VBKO, Leidschendam, 2000.
31. PIANC, *State-of-the-art of designing and constructing berm breakwaters*. Working Group 40, 2003.
32. Rijkswaterstaat, *Grastoets*. Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft. <http://www.helpdeskwater.nl>.
33. Rijkswaterstaat, IHE-Delft en TU-Delft, *Coastal and River Engineering Support System (CRESS)*, <http://www.kennisbank-waterbouw.nl/cress/>.
34. WL|Delft Hydraulics, *Breakwat 3.2.0*, 2006.
35. Deltares, *Steenstoets 2008*, [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl).
36. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werkgroep B (J. Lindenberg). *Aardbevingen in Nederland; een gevaar voor waterkeringen?* Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, mei 1996
37. KOAC-NPC en IKM-Engineering, *Golfklap versie 1.3.2.2*, april 2009. <http://www.helpdeskwater.nl>.
38. G.J. Schiereck, *Introduction to bed, bank and shore protection*. 2004, <http://www.vssd.nl/hlf/f007.htm>.
39. K. d'Angremond, F.C. van Roode, *Breakwaters and closure dams*. 2001, <http://www.vssd.nl/hlf/f011.htm>.
40. *Overzicht DuboCalc*, 2009, <http://duurzaam bouwen.senternovem.nl>.
41. M.D. Davidson, R.C.W. Wit, *Weging in DuboCalc – Toepasbaarheid van de preventiemethodiek*. Delft, 2003.
42. Ciria, H.W.M. Hewlett, L.A. Boorman and M.E. Bramley, *Design of reinforced grass waterways*. Report 116, London, 1987.
43. Nederlands Normalisatie Instituut, NEN EN 13383, *deel 1 Waterbouwsteen, deel 2 beproevingsmethoden*. mei 2002.
44. J.W. van der Meer, *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*, 1988, Doctoral thesis, Delft University of Technology. Also Delft Hydraulics Publication no. 396.
45. Helpdesk Water: *Algemene Beoordelings Methodiek*. [http://www.helpdeskwater.nl/emissiebeheer/industrieel/afvalwater/beoordelen\\_emissies/abm/](http://www.helpdeskwater.nl/emissiebeheer/industrieel/afvalwater/beoordelen_emissies/abm/)

46. Europese Kaderrichtlijn water. <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/kaderrichtlijn-water/>.
47. Helpdesk Water: Emissie immissie toets. <http://www.helpdeskwater.nl>.
48. Rijkswaterstaat, samenvatting Wvo, [http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Wet%20verontreiniging%20oppervlaktewateren\\_tcm174-139430.pdf](http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Wet%20verontreiniging%20oppervlaktewateren_tcm174-139430.pdf).
49. Waterschap Reest en Wieden, Vergunningen beleid Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren. maart 2005.
50. <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/digitale-ner/2-algemeen/2-12-toepassing-bat/2-12-5-beste>.
51. H. Walker et al., Principles of ecotoxicology. ISBN 0-7484-0940-8, Londen, 2001.
52. Helpdesk Water, Achtergronden immissietoets. 17 december 2008.
53. Wet van 18 maart 1999, houdende bepalingen ter verbetering van de arbeidsomstandigheden (Arbodemondwett) 1998, <http://wetten.overheid.nl>.
54. M.E. van Boetzelaer, A.F.X. Bartels, Milieu-inventarisatie Westerschelde Versie 18. februari 2003.
55. WL|Delft Hydraulics, Eenvoudige toetsing voor havendammen. 2002, H4048.
56. Ministerie van Verkeer & Waterstaat, DG Rijkswaterstaat, Handleiding wegenbouw, ontwerp verhardingen. Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 1998.
57. Comflow, [www.comflow.nl](http://www.comflow.nl).
58. S.A. Katz, H. Salem, The toxicology of chromium with respect to its chemical speciation: A review. *Journal of Applied Toxicology* 13 (3): 217–224.
59. Rijkswaterstaat, Leidraad Bouwstoffen, 2009, uitgeverij Schreurs.
60. Commissie Integraal Waterbeheer, Het beoordelen van stoffen en preparaten voor de uitvoering van het emissiebeleid water, mei 2000.
61. Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen. Hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen. Deltares en Witteveen+Bos 2010.
62. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, State of the art asfaltdijkbekledingen, Amersfoort, rapport 2010-W06, 2010.
63. Toetsen Grasbekledingen op Dijken. Deltares 2012;
64. Klein Breteler, M.: Documentatie Steentoets2008 en Steentoets2010. Deltares 2012;
65. Handreiking Dijkbekledingen. Deel 1: Algemeen. Deltares, januari 2015.
66. Handreiking Dijkbekledingen. Deel 2: Steenzettingen. Deltares, januari 2015.
67. Handreiking Dijkbekledingen. Deel 3: Asfaltbekledingen. Deltares, januari 2015.
68. Handreiking Dijkbekledingen. Deel 4: Breuksteenbekledingen. Deltares, januari 2015.
69. Handreiking Dijkbekledingen. Deel 5 : Grasbekledingen. Deltares, januari 2015.



10 Bijlagen



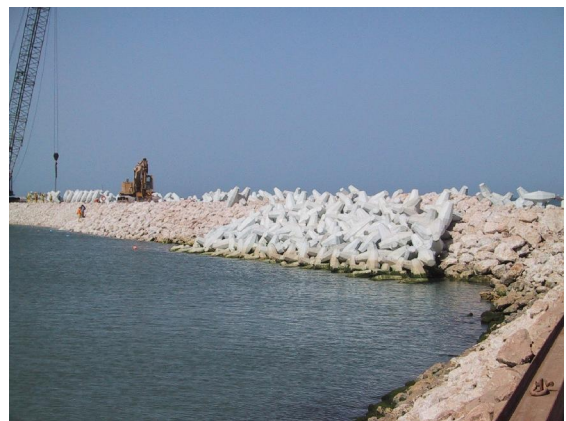
## Bijlage I: Beschrijving traditionele bekledingen

### Losgestorte elementen/materialen

Losgestorte elementen zijn elementen die na plaatsing nog steeds los van elkaar kunnen bewegen. Deze losgestorte materialen halen de stabiliteit voornamelijk uit hun gewicht en dienen dus zwaar genoeg te zijn om stabiel te zijn onder de (hydraulische) belasting. Wel kunnen elementen nog extra stabiliteit krijgen door interactie met andere elementen. Bijvoorbeeld door een specifieke vorm die kan leiden tot interlocking. De toplaag is zo doorlatend dat geen druk wordt opgebouwd door waterstandsverschillen boven en onder de bekleding. Onder de elementen in de toplaag zijn over het algemeen meerdere lagen vereist die er zorg voor dragen dat het kernmateriaal niet door de toplaag spoelt.

Enkele voorbeelden van losgestorte elementen:

- breuksteen;
- betonnen kubussen;
- interlock elementen.



Figuur I-1: Losgestorte materialen als oeverbekleding



Figuur I-2: Versterkte vegetatie (links) en grasbekleding (rechts)

### Flexibele natuurlijk aaneengesloten vegetatiemat

Een oeverbekleding kan bestaan uit een natuurlijke aaneengesloten begroeiing. De sterkte zit grotendeels in het niet zichtbare gedeelte, de wortellaag die als het ware de begroeiing in de grond verankert. De sterkte hangt daarbij af van de sterkte van de vegetatie, de sterkte en lengte van de wortels en de dichtheid van de verbindingen (bijvoorbeeld de begroeiingdichtheid van gras). De natuurlijke vegetatie kan versterkt worden door bijvoorbeeld doorgroeibare matten of stenen. Er wordt dan sterkte uit de

vegetatie gehaald, maar ook uit de doorgroeibare elementen.

Een voorbeeld van een natuurlijke aaneengesloten mat is een grasbekleding. Die wordt op vrijwel alle dijken in Nederland toegepast. Dit materiaal is natuurlijk en goedkoop en is daarom vaak een van de beste alternatieven als de hydraulische belasting niet te groot is.

Coherente materialen – gezette bekledingen en blokkenmatten

Gezette bekledingen en blokkenmatten bestaan uit elementen die netjes naast elkaar zijn geplaatst of onderling verbonden zijn. De stabiliteit wordt ontleend uit het gewicht per vierkante meter en de interactie tussen de stenen. Het oppervlak is over het algemeen glad waardoor de golven weinig grip krijgen op de stenen. De gezette steen (het coherente materiaal) staat over het algemeen op een granulaire laag (steenslag) of geotextiel (zanddicht doek). De doorlatendheid en dikte van deze onderlaag is zeer belangrijk, omdat dit bepaald hoe groot de drukopbouw onder de toplaag is.

Er zijn vele vormen mogelijk en ook de coherentie met andere stenen kan op meerdere manieren tot stand komen. Bijvoorbeeld door inklemming, verbinding met kabels of een geotextiel. Een aantal voorbeelden van coherente materialen staat hieronder genoemd en is te zien in onderstaande figuur.

- zuilen;
- blokken;
- blokken verbonden met kabels;
- interlock stenen.



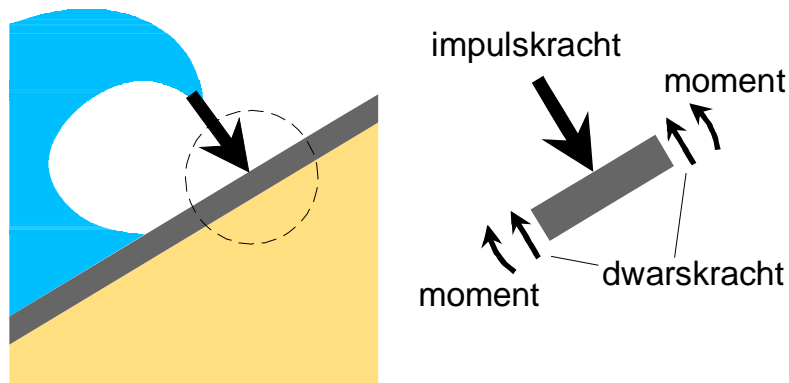
Figuur I-3: Plaatsing gezette bekleding (links) en plaatsing blokkenmat (rechts)

plaatbekledingen (open – dicht)

Plaatbekledingen zijn in het werk gestorte of geprefabriceerde platen met een geringe dikte in verhouding tot de lengte en de breedte met een oppervlakte van doorgaans circa 1 m<sup>2</sup>. Het materiaal is meestal een beton- of asfaltproduct. De stabiliteit wordt ontleend aan het gegeven dat momenten en dwarskrachten inwendig kunnen worden overgedragen. Piekbelastingen worden zodoende gespreid binnen het element naar zones met een lagere belasting. Waar losgestorte materialen en coherent materiaal de stabiliteit uit gewicht en cohesie met andere elementen halen, wordt bij plaatbekledingen de belasting gespreid. De stabiliteit van de plaat is wel afhankelijk van het gewicht van één element, hierdoor zijn het soortelijk gewicht en de plaatdikte van belang bij het ontwerp. Vanwege de plaatwerking is de benodigde laagdikte van plaatbekledingen in het algemeen aanzienlijk geringer dan van



losgestorte elementen. Plaatbekledingen worden zowel waterdicht (dicht) als waterdoorlatend (open) uitgevoerd.



Figuur I-4: Schematisering krachtenspreiding plaatbekleding

#### Monoliete bekledingen (open en dicht)

Een stap verder dan de plaatbekledingen is de monolieten bekleding. In plaats van een beperkt oppervlak van één element van ongeveer 1 m<sup>2</sup> vormt de bekleding hier één geheel. In het algemeen gaat het hier om een vulmateriaal dat gebonden is met een bindmiddel dat wordt gemengd en gestort. Net als bij plaatbekledingen kunnen belastingen binnen de bekleding worden gespreid en is ook het gewicht en de dikte van de bekleding van belang. Voorbeelden van monolieten bekledingen zijn:

- gepenetreerd breuksteen;
- waterbouwasfaltbeton.

Gepenetreerde breuksteen en waterbouwasfaltbeton worden vooral toegepast vanwege de hoge sterkte en duurzaamheid. Ze zijn bestand tegen relatieve grote golfbelastingen.



Figuur I-5: Monolieten bekleding asfalt

#### *Ervaringen met cementgebonden plaatbekledingen*

Naast asfaltbekledingen zijn er ook monolieten bekledingen uitgevoerd waarbij cement als bindmiddel is toegepast. Dit kan gaan om open colloïdaal betonnen plaatbekledingen, dichte colloïdaal betonnen plaatbekledingen en met colloïdaal beton gepenetreerde breuksteenbekledingen.

De verwachtingen van het materiaal waren hoog gespannen, maar de ervaringen met een aantal (proef)vakken (Vlissingen, Breskens) waarbij colloïdaal beton onder getij-omstandigheden is toegepast, waren zeer teleurstellend. Onder invloed van getij en golven, maar ook door regen is veel van het bindmiddel uitgespoeld, het materiaal ontmengde. Voorts is een deel door de zon "verbrand".

Het lijkt erop dat de betoncentrale goed ingeregeld moet zijn om het juiste mengsel te kunnen leveren. Een kleine partij colloïdaal beton tussendoor samenstellen levert klaarblijkelijk een groot risico op onvoldoende kwaliteit. In Zeebrugge is wel een bekleding naar tevredenheid aangelegd. Van penetratie van breuksteen met colloïdaal beton zijn meerdere succesvolle projecten bekend.

Kortom een succesvolle toepassing van dit type bekleding vraagt om een goed stabiele mengselsamenstelling, een zorgvuldige uitvoering en een goede planning.

## Bijlage II: Wettelijke bepalingen (2010)

### II.1 Inleiding

Bij het aanleggen van de bekleding op een waterkering spelen de juridische en wettelijke aspecten een belangrijke rol. Deze eisen komen voort uit reeds bestaande wet- en regelgeving. Binnen de wettelijke eisen wordt in deze bijlage onderscheid gemaakt in de eisen die aan iedere bekleding worden gesteld. Deze eisen vloeien bijvoorbeeld voort uit het Besluit bodemkwaliteit, waarin eisen aan het toepassen van (bouw-)materialen zijn opgenomen. Deze wettelijke aspecten richten zich dan met name op het gebruik en het toepassen van materialen. Naast de eisen aan de bekleding wordt ook inzicht gegeven in de wetgeving waarmee een initiatiefnemer rekening dient te houden, zijnde ruimtelijke ordeningskaders en vergunningen. Als laatste wordt nog inzicht gegeven in nieuwe wet- en regelgeving die op korte en middenlange termijn te verwachten is.

### II.2 Wettelijke eisen aan bekledingen

Vanuit diverse wetgeving worden eisen aan bekledingen van waterkering gesteld. Deze eisen zijn voor alle toe te passen bekledingsoorten nagenoeg gelijk. Een overzicht van deze wettelijke eisen is reeds gegeven in hoofdstuk 2. In deze paragraaf volgt een uitwerking en een aanvulling. Van onderstaande wettelijke kaders is in deze paragraaf een nadere toelichting opgenomen:

1. Waterwet (Wtw);
2. Wet bodembescherming;
3. Besluit bodemkwaliteit;
4. Kaderrichtlijn water;
5. Kaderrichtlijn mariene strategie;
6. REACH.

#### II.2.1 Waterwet

De Waterwet is op 22 december 2009 van kracht geworden en is voor dijk aanleg, -verlegging en -verbetering het belangrijkste juridische kader. De toepassing van deze wet is gericht op (artikel 2.1 Wtw):

- voorkoming en waar nodig beperking van overstromingen, wateroverlast en waterschaarste, in samenhang met;
- bescherming en verbetering van de chemische en ecologische kwaliteit van het watersysteem, en;
- vervulling van maatschappelijke functies door watersystemen.

In het kader van de beperking van overstromingen is deze wet van toepassing op bijna alle dijkkringgebieden en primaire waterkeringen (artikel 1.3 Wtw). Voor een exact overzicht wordt verwezen naar bijlage I van de Waterwet waarin een overzicht is opgenomen. Daarnaast geeft de wet de veiligheidsnorm aan als gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend (artikel 2.2 Wtw). In bijlage II van de Waterwet zijn de veiligheidsnormen opgenomen. Voor de toetsing van waterkeringen en hun bekleding wordt het WTI ([8] en [14]) toegepast. Deze regeling wordt regulier herzien. Voor een nieuwe dijkbekleding moet aannemelijk gemaakt worden dat deze ook aan de eisen voldoet.

Naast de beperking van overstromingen richt de wet zich ook op de bescherming en verbetering van de chemische en ecologische kwaliteit van het watersysteem. Een watersysteem is een samenhangend geheel van één of meer oppervlaktewaterlichamen en

grondwaterlichamen, met bijbehorende waterkering of ondersteunend kunstwerk. Bij de beoordeling of een materiaal toegepast kan worden, dient een integrale afweging gemaakt te worden voor het watersysteem waarbij zowel de chemische als ecologische toestand wordt betrokken. Meer hierover onder de Kaderrichtlijn water (§11.2.4).

#### *11.2.2 Wet bodembescherming*

De Wet bodembescherming voorziet in wetgeving die de bodem in Nederland dient te beschermen en indien een verontreiniging optreedt de juiste regelgeving om deze verontreiniging te onderzoeken, beheersen en/of te saneren. Bij een nieuwe dijkbekleding is het dan ook van belang dat de bekleding niet in strijd is met het eerste uitgangspunt van de Wet bodembescherming: het voorkomen van verontreiniging. Bij de keuze van toe te passen materialen dient dus beoordeeld te worden of het materiaal zelf bodembedreigend is of na loop van jaren kan uitlogen of afbreken in bodembedreigende stoffen. Een voorbeeld is het toepassen van bijvoorbeeld puin in ophogingen, waaruit verontreinigingen kunnen vrijkomen die in de bodem en/of grondwater terecht komen. Het beoordelen van de toe te passen materialen is van belang en indien het toepassen van andere materialen niet mogelijk is, dienen bodemafschermende voorzieningen toegepast te worden.

#### *11.2.3 Besluit bodemkwaliteit*

Hoofdstuk 3 van het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) stelt regels over (het toepassen van) bouwstoffen. Het Besluit definieert een bouwstof als een: 'materiaal waarin de totaalgehalten aan silicium, calcium of aluminium tezamen meer dan 10 gewichtsprocent van dat materiaal bedragen, uitgezonderd vlakglas, metallisch aluminium, grond of baggerspecie, dat is bestemd om te worden toegepast'. Het Besluit heeft daarmee alleen betrekking op steenachtige materialen, zoals bakstenen, dakpannen, asfalt en beton. Materialen bestaande uit hout of kunststof vallen niet onder het Besluit. Grond en baggerspecie zijn dus geen bouwstof, tenzij ze een functioneel onderdeel uitmaken van een bouwstof (bijvoorbeeld als grondstof voor beton). Het Besluit bevat nog wel een uitbreiding van wat onder een bouwstof moet worden verstaan. Is een bouwstof vermengd met ten hoogste 20 gewichtsprocenten grond of baggerspecie, dan kan hij nog steeds worden aangemerkt als een bouwstof. Voor toepassing van grond en baggerspecie is in het Bbk in hoofdstuk 4 specifieke regelgeving opgenomen. In het Bbk zijn de maximale samenstellings- en emissiewaarden voor bouwstoffen opgenomen. Voldoet een materiaal niet aan deze waarden, dan is geen sprake van een bouwstof maar van een afvalstof. Om aan te kunnen tonen dat een bouwstof niet de maximale waarden overschrijdt, is een milieuhygiënische verklaring vereist.

Het Besluit kent drie verschillende typen, te weten de partijkeuring, de erkende kwaliteitsverklaring en de fabrikant-eigenverklaring. Er wordt onderscheid gemaakt in drie categorieën van bouwstoffen:

- vormgegeven bouwstoffen, bijvoorbeeld bakstenen en asfaltbeton;
- niet vormgegeven bouwstoffen zonder isolatie-, beheer- en controlemaatregelen (IBC-maatregelen), bijvoorbeeld assen en granulaten;
- niet vormgegeven bouwstoffen met IBC-maatregelen, bijvoorbeeld het voorzien van een bouwstof van isolatie.

#### *11.2.4 Kaderrichtlijn water*

Op 22 december 2000 is de Kaderrichtlijn water in werking getreden. Deze richtlijn gaat ervan uit dat water een erfgoed is dat moet worden beschermd en verdedigd. De richtlijn geeft het kader voor de bescherming van landoppervlaktewater, overgangswater, kustwater en grondwater. De Kaderrichtlijn stelt als doel het behalen van een 'goede toestand' van het oppervlaktewater in 2015, met een mogelijkheid tot uitstel tot 2027. Deze doelstelling geldt per waterlichaam. Een waterlichaam is een min of meer samenhangende waterenheid die

als zodanig is gedefinieerd in de rapportages vanuit Nederland aan de Europese Commissie. De toestand van een waterlichaam bestaat uit twee aspecten: de chemische toestand en de ecologische toestand. Voor de chemische toestand zijn slechts die stoffen relevant, waarvoor op grond van bestaande Europese regelgeving milieukwaliteitsnormen zijn vastgesteld. De chemische toestand wordt bepaald door de lijst van 33 prioritaire stoffen (Europese dochterrichtlijn 2008/105) en acht stoffen uit de richtlijn 76/464. Alle andere normen voor stoffen zijn nationaal afgeleid, zogenaamde "overige relevante stoffen", en vallen binnen de ecologische toestand. Deze normen zijn opgenomen in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water.

In het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water zijn normen gesteld waarin bepaalde stoffen in het oppervlaktewater terecht mogen komen. De norm die niet overschreden mag worden betreft de milieukwaliteitsnorm (MKN-waarde). Deze waarde geeft aan welke concentratie voor mens, plant of dier maximaal toelaatbaar wordt geacht. Als voor een stof (nog) geen MKN-waarde is vastgesteld, dan kan een ad-hoc MKN worden afgeleid. Bij een dergelijke MKN is onderzoek minder uitvoerig, wat doorgaans resulteert in een grotere veiligheidsmarge.

Indien stoffen worden toegepast die mogelijk in het oppervlaktewater terecht kunnen komen, is het ook mogelijk om voor die ene stof te bepalen in hoeverre deze schadelijk is. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van de ABM (Algemene Beoordelingsmethodiek), waarin de mate van schadelijkheid van de stof op het ontvangen oppervlaktewater wordt bepaald.

Vanuit de Waterwet wordt de waterbezwaarlijkheid getoetst met behulp van de immissietoets. Middels de toets, uitgewerkt in het CIW-rapport 'Emissie-immissie, prioritering van bronnen en de immissietoets', kan nagegaan worden of de lozing niet gaat leiden tot onaanvaardbare concentraties in het watersysteem. De MKN-waarde is een belangrijke parameter in deze toets.

Naast de bovengenoemde doelstellingen, stelt de Kaderrichtlijn water een aparte reductiedoelstelling ten aanzien van emissies van prioritaire stoffen. En in een aparte stoffenbijlage bij de richtlijn worden 33 stoffen aangemerkt als prioritair dan wel prioritair gevaarlijk. Emissies, lozingen en verliezen van prioritaire gevaarlijke stoffen moeten stopgezet of uitgefaseerd of niet toegestaan worden. Verontreiniging door prioritaire stoffen moet geleidelijk worden verminderd, echter zonder dat een verplichting tot uifasering geldt. Duidelijk is dat uiteindelijk een reductieverplichting bestaat voor alle prioritaire stoffen en dat nieuwe emissies voorkomen moet worden.

Verder kent de Kaderrichtlijn water het principe van geen achteruitgang. Aanvragen met betrekking tot nieuwe emissies of uitbreidingen van bestaande emissies moeten aan dit principe worden getoetst. Voorkomen moet worden dat de toestand van het water verslechterd. Omdat de Kaderrichtlijn de toestand beschrijft op het niveau van waterlichamen, is dit in principe ook het niveau waarop 'geen achteruitgang' wordt toegepast. De Kaderrichtlijn water hanteert voor de chemische toestand twee klassen: goed en slecht. Een waterlichaam verkeert alleen in chemische goede toestand als alle stoffen waarvoor Europese milieukwaliteitsnormen gelden aan die normen voldoen. Deze normen zijn afgeleid van de MKN. Overschrijdt één stof de norm, dan verkeert het waterlichaam niet langer in een chemische goede toestand. Voor de ecologische toestand zijn er vijf klassen: zeer goed / goed / matig / slecht / zeer slecht. Bij de ecologische beoordeling worden de stoffen getoetst aan het verwaarloosbaar risico (VR) en aan de MKN, zoals die opgenomen in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water. Bij de toetsing aan de ecologische toestand wordt in principe naar alle parameters gekeken. Het gaat hierbij om een totaaloordeel,

waarbij bijvoorbeeld ook biologische en hydromorfologische kwaliteitskenmerken worden meegewogen.

De beoordeling van bovenstaande zaken vindt plaats in samenspraak met de waterkwaliteitsbeheerder middels melding en/of vergunningprocedure.

#### *11.2.5 Kaderrichtlijn mariene strategie*

Deze Europese kaderrichtlijn voorziet in gemeenschappelijke beginselen, zodat lidstaten hun eigen strategieën uitwerken teneinde voor het zeewater een goede milieutoestand te bereiken. Deze strategieën hebben tot doel de Europese mariene ecosystemen te beschermen en te herstellen, en te waarborgen dat de economische activiteiten met betrekking tot het mariene milieu een duurzaam karakter hebben. Deze richtlijn is met name gericht op de nationale overheid. De eisen uit de strategie worden toegepast op alle werkzaamheden en beheersfuncties op of nabij zeewater, dus ook innovatieve dijkbekleding. Vanuit deze richtlijn is het dan ook van belang om de ecologische staat van het water en de invloed van menselijke activiteiten te beoordelen. Onder menselijke activiteiten wordt ook het aanleggen van dijkbekledingen verstaan. Deze beoordeling omvat:

- een analyse van de essentiële kenmerken van deze wateren (fysische en chemische kenmerken, habitattypes, dieren- en plantenpopulaties, enzovoort);
- een analyse van de belangrijkste gevolgen en belastende factoren, met name ten gevolge van menselijke activiteiten die de eigenschappen van de wateren beïnvloeden (aantasting door giftige producten, eutrofiëring, verstikking of verslibbing van de habitat door bouwwerken, enzovoort);
- een economische en sociale analyse van het gebruik van deze wateren en van de kosten van de verslechtering van de toestand van het mariene milieu.

De beoordeling van bovenstaande zaken vindt plaats in samenspraak met de waterkwaliteitsbeheerder middels melding en/of vergunningprocedure.

#### *11.2.6 REACH*

REACH staat voor Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemische stoffen. Het is een Europese Verordening die als doel heeft het beschermen van mens en milieu tegen de risico's van chemische stoffen. Binnen deze regels zijn producenten van stoffen verantwoordelijk voor het aandragen van informatie over eigenschappen, risico's van blootstelling aan en het gebruik van de stoffen, en hierop gebaseerd de nodige maatregelen te treffen ter bescherming van mens en milieu. Daarnaast is het belangrijk dat risicogegevens van stoffen ook bekend worden bij afnemers, consumenten en werknemers, zodat zij weten op welke wijze ze veilig met de stoffen kunnen omgaan. Bij het toepassen van chemische stoffen in dijkbekledingen dienen deze geregistreerd te staan en dienen de risicogegevens in zowel aanleg en beheerfase bekend te zijn.

### **11.3 Wettelijke eisen aan realisatie**

In Artikel 5.1 van de Wtw staan de wettelijk vereiste beheerdocumenten legger en technisch beheersregister omschreven. Bij de toetsing op veiligheid controleert de beheerder tevens of de legger nog voldoet aan de veiligheidsnorm en de vigerende hydraulische randvoorwaarden en ontwerpregels. Als de legger niet meer blijkt te voldoen, dan volgt de herzieningsprocedure; eventueel wordt dit uitgesteld tot er voldoende aanpassingen van enig gewicht zijn.

Als de toestand van de bekleding daartoe aanleiding geeft bevat de toetsingsrapportage omschrijvingen van de "voorzieningen" die nodig geacht worden om het waterkerend vermogen weer op peil te brengen. Hierbij bestaat onderscheid tussen onderhoud, wijziging en nieuwbouw.

Onderhoud is (reparatie)werk binnen de oude legger waarbij de oorspronkelijke toestand wordt hersteld door conserveren, renoveren en/of vervangen. Blijkt uit de toetsing dat onderhoud nodig is, dan vergt dit geen speciaal overleg tussen beheerder en provincie en leidt dit niet tot de score "onvoldoende". Er is wel directe actie van de beheerder vereist. Een wijziging is nodig als uit de benodigde aanpassing blijkt dat de legger niet meer voldoet. De realisatie hiervan vergt, evenals bij nieuwbouw c.q. aanleg het doorlopen van meerdere wettelijke procedures, te verdelen in drie categorieën:

1. Waterwet;
2. ruimtelijke ordening;
3. vergunningprocedures.

Onderstaand is voor deze drie categorieën een nadere toelichting opgenomen.

#### *11.3.1 Waterwet*

De Waterwet verplicht provincies toe te zien op alle primaire waterkeringen binnen de provincie. De provincie is dan ook verplicht om van iedere primaire waterkering een plan vast te stellen. Dit plan wordt door de beheerders, in de meeste gevallen waterschappen en in sommige gevallen Rijkswaterstaat, opgesteld. Het plan wordt een projectplan genoemd. Een projectplan dient opgesteld te worden bij de aanleg of wijziging van een waterstaatswerk door of vanwege de beheerder (artikel 5.4 lid 1 Wtw). Bij het onderhouden van waterkering is een projectplan niet aan de orde.

Het projectplan omvat (artikel 5.4 lid 2 Wtw):

- een beschrijving van het betrokken werk;
- de wijze waarop het werk wordt uitgevoerd;
- een beschrijving van de te treffen voorzieningen gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen van de uitvoering van het werk.

Naast een projectplan is vaak ook de m.e.r.-regelgeving van toepassing. Het Besluit milieueffectrapportage stelt in categorie 12.1 van bijlage D voor het wijzigen of uitbreiden van een zee-, delta- of rivierdijk een m.e.r.-beoordeling verplicht. Dit betekent dat bij ieder nieuw op te stellen dijkversterkingsplan een m.e.r.-beoordeling toegevoegd dient te worden. In de m.e.r.-beoordeling wordt de te realiseren dijkversterking uitgewerkt aan de hand van alle milieuthema's, zoals natuur, cultuur, archeologie, landschap, et cetera. Het doel van de milieueffectrapportages is om het milieu- en omgevingsbelang een volwaardige plaats in de besluitvorming te geven. De m.e.r.-beoordeling wordt opgesteld om te bepalen of bijzondere omstandigheden aanwezig zijn, waardoor het opstellen van een volledige milieueffectrapportage noodzakelijk is. Het verschil bij deze laatste rapportage is dat ook varianten in het ontwerp betrokken dienen te worden. Een complete m.e.r. is in ieder geval aan de orde als het een wijziging of uitbreiding van een zee-, delta- of rivierdijk over een lengte van vijf kilometer of meer betreft. Dit is overeenkomstig categorie 12.1 en 12.2 van bijlage C van het Besluit m.e.r.

De procedure voor een projectplan tot aanleg, verlegging of versterking van primaire waterkeringen is opgenomen in hoofdstuk 5 van de Waterwet. De procedure voor het projectplan en een m.e.r. (-beoordeling) verlopen gelijktijdig. Na vaststelling van beide documenten door de dijkbeheerder worden deze gezamenlijk ter inzage gelegd voor zes weken. In deze zes weken mag iedereen zijn zienswijze kenbaar maken. Na deze periode wordt het plan definitief vastgesteld door de beheerder en ter goedkeuring voorgelegd aan de provincie. De totale proceduretijd, exclusief voorbereiding, bedraagt ongeveer negen maanden. Deze procedure kent tevens de mogelijkheid om besluiten te coördineren

(voortkomend uit vergunningaanvragen), die nodig zijn om tot uitvoering van het werk te komen. Hierdoor worden gelijktijdig met de procedure van het projectplan ook de benodigde vergunningen behandeld en afgegeven.

### *11.3.2 Ruimtelijke ordening*

Het ruimtelijk kader is in Nederland vastgelegd in de Wet ruimtelijke ordening. Deze wet is in 2008 volledig vernieuwd en geeft weer hoe het ruimtelijk gebruik in Nederland wordt beheerd en vastgelegd. Het belangrijkste instrument hierbij is het bestemmingsplan, waarin de functie en voorwaarden van de ruimte zijn vastgelegd. In bestemmingsplannen zijn dan ook de waterkeringen opgenomen en vastgelegd. Bij het aanleggen van nieuwe dijkbekledingen zijn de grenzen van het bestemmingsplan meestal geen knelpunt. De dijk is in de meeste gevallen al jaren aanwezig en dan ook opgenomen in het bestemmingsplan. Aandacht wordt gevraagd bij het realiseren van een nieuwe waterkering of het verbreden of ingrijpend wijzigen van de waterkering. In deze situaties kan het nieuwe dijkprofiel en de daarbij behorende bekleding in een andere functie van het bestemmingsplan komen te liggen. Dit zou betekenen dat het bestemmingsplan hierop aangepast dient te worden. Voor aanpassingen en wijzigingen van dergelijke plannen kent de Wet ruimtelijke ordening verschillende instrumenten. Indien dit soort gevallen aan de hand zijn, wordt aanbevolen om contact op te nemen met de gemeente waarin de waterkering gelegen is. De gemeente beheert bestemmingsplannen en is tevens de instantie die deze plannen kan wijzigen en vaststellen.

### *11.3.3 Vergunningprocedures*

Bij het realiseren van een nieuwe dijkbekleding is, afhankelijk van de ingreep en ligging, één of meerdere vergunningen noodzakelijk. Hieronder een opsomming van de meest voorkomende vergunningprocedures. De proceduretijden die hieronder genoemd zijn, omvatten de wettelijke termijnen die ingaan op het moment dat een definitieve aanvraag is ingediend. Het eventuele vooroverleg maakt hier geen onderdeel van uit. De extra tijd die met het vooroverleg gemoeid is, dient hier nog bij geteld te worden.

### *Waterwet*

Op 22 december 2009 is de Waterwet van kracht geworden die het complete kader van de waterhuishouding gaat omvatten, van grondwater tot oppervlaktewater en zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve aspecten. In de Waterwet zijn onderdelen opgenomen die voorheen verschillende wetten waren, zoals de Grondwaterwet, de Wet verontreiniging oppervlaktewateren, de Wet beheer rijkswaterstaatswerken, de Wet op de waterkering, et cetera. Daarnaast is de Waterwet het kader waarin de Europese kaderrichtlijn water is geïmplementeerd in de Nederlandse wetgeving.

In het kader van de Waterwet dient voor het uitvoeren van een plan vergunning aangevraagd te worden. Deze aanvraag omvat een toetsing aan het gehele oppervlaktewatersysteem. Het vergunningstelsel is in hoofdstuk 6 van de Waterwet opgenomen. De Waterwet kent onder andere een vergunningstelsel voor:

- het brengen van stoffen op een oppervlaktewaterlichaam (artikel 6.2 Wtw);
- het gebruikmaken van een waterstaatswerk in beheer van het rijk (artikel 6.5 Wtw);
- het werken in een watersysteem of beschermingszone opgenomen in keurverordening van het waterschap (artikel 6.13 Wtw).

Indien een vergunning van de Waterwet noodzakelijk is, wordt een aanvraag ingediend waarin op alle verbodsbepalingen een vergunning aangevraagd kan worden. Het bevoegd gezag maakt vervolgens een integrale afweging van alle gronden waarop vergunning wordt aangevraagd. Bij deze afweging wordt getoetst of de ingreep en de getroffen maatregelen de



vastgestelde normen niet overschrijden en toelaatbaar zijn binnen de vigerende wet- en regelgeving.

Het bevoegd gezag voor deze vergunning is in principe het waterschap, tenzij Rijkswaterstaat beheerder van een object is en daarmee ook de vergunningverlenende instantie. Het hoogste bevoegd gezag verleend namelijk de vergunning. Op deze regel kan een uitzondering gemaakt worden als het lagere bevoegd gezag een groter belang heeft in de vergunningverlening.

De reguliere procedure voor de watervergunning bedraagt acht weken met vervolgens een ter inzage legging van zes weken. Tijdens deze zes weken kunnen belanghebbende bezwaar maken. Bij complexe ingrepen kan bij wet bepaald zijn of het bevoegd gezag besluit de uitgebreide procedure toe te passen, waardoor de proceduredtijd verlengd wordt tot maximaal 26 weken. In deze 26 weken wordt een ontwerpbesluit ter inzage gelegd, waarop belanghebbende zienswijzen kenbaar kunnen maken. Vervolgens wordt een definitief besluit opgesteld.

Bij eenvoudige zaken kan in de Waterwet en de onderliggende besluiten en regelingen vaak volstaan worden met een melding. Bij een melding gelden algemene voorwaarden, waarbij het bevoegd gezag vaak een aanvulling binnen een gestelde periode kan vaststellen. In de aanvullende voorschriften worden vaak andere of strengere normen gesteld.

#### Natuurbeschermingswetvergunning

Een vergunning naar aanleiding van de Natuurbeschermingswet 1998 (afgekort Nb-wet) is aan de orde op het moment dat de aanleg of het beheer van dijkbekledingen gaat leiden tot verstoring of verslechtering van de kwaliteit van het beschermde natuurgebied. De Nb-wet beschermt twee soorten gebieden:

- Natura-2000 gebieden: dit zijn gebieden die in de Europese habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn zijn opgenomen en behoren tot de Europese speciale beschermingszone. Bekende gebieden zijn: de Waddenzee, het Markermeer, het IJsselmeer, de Oosterschelde, de Westerschelde en duingebieden nabij Wassenaar, Noordwijk, Velsen, maar ook de rivierdelta's van Maas, IJssel en Waal;
- beschermde natuurmonumenten: gebieden die onder de Nb-wet zijn aangewezen vanwege hun waardevolle kwaliteit van flora en fauna en landschapsschoon. Onder deze gebieden vallen de natuurmonumenten, nationale parken en gebieden uit het Wetlandsverdrag. Vele van deze gebieden zijn vaak ook Natura-2000 gebieden, zoals bijvoorbeeld de Waddenzee. De afbakening van de gebieden kan echter verschillen.

Indien binnen de grenzen van een beschermd gebied wordt gewerkt, is een Nb-vergunning altijd aan de orde. Indien nabij of aangrenzend aan een dergelijk gebied gewerkt wordt, is een vergunning alleen aan de orde als een significant effect optreedt. De effectbeoordeling is zowel op de aanlegfase als beheerfase van toepassing. Bij het aanleggen van een dijkbekleding is er in de aanlegfase meestal hinder door geluid en licht voortkomend uit het in te zetten materiaal. In de beheerfase is de hinder meestal minimaal. Een nieuwe dijkbekleding kan echter leiden tot het verlies van habitat, omdat bijvoorbeeld vogels niet meer gebruik kunnen maken van de dijk vanwege het toepassen van een andere bekleding. Dit verlies dient dan ook vergund en mogelijk gecompenseerd te worden. Voor het verkrijgen van een vergunning is het dus van belang om inzicht te kunnen geven in de oorzaak en het effect van de maatregel. Vervolgens dient dit gekoppeld te worden aan het effect op het voorkomen van habitats, populaties en soorten in en rondom het gebied.

Het aanvragen van een keurvergunning vindt bij de provincie plaats waarin de werkzaamheden worden uitgevoerd. Indien het effect van de ingreep voor een gebied geldt

waar meerdere provincie zeggenschap over hebben, worden die ook bij de vergunning betrokken (zoals bijvoorbeeld bij de Waddenzee). De reguliere procedure voor deze vergunning bedraagt 16 weken met vervolgens een ter inzage legging van zes weken. Tijdens deze zes weken kunnen belanghebbenden bezwaar maken. Deze termijn kan verlengd worden met nogmaals 16 weken.

#### Flora- en faunawet

Een vergunning naar aanleiding van de Flora- en faunawet is aan de orde op het moment dat beschermde plant- of diersoorten verstoord, beschadigd, gedood of verplaatst worden. Deze wet richt zich dus enkel op soortbescherming in tegenstelling tot de gebiedsbescherming Natuurbeschermingswet. Ook deze vergunning kan zowel voor de aanleg- als beheerfase aan de orde zijn. Om de noodzaak van deze vergunning te bepalen, dient inzichtelijk gemaakt te worden of in of nabij het plangebied beschermde soorten voorkomen. Welke soorten in Nederland beschermt zijn, is opgenomen in het Besluit vrijstelling beschermde dier- en plantsoorten.

Het aanvragen van een Flora- en faunaontheffing vindt bij het ministerie van LNV plaats. De reguliere procedure voor deze ontheffing bedraagt acht weken met vervolgens zes weken waarin het besluit ter inzage ligt. Tijdens deze periode kunnen belanghebbende bezwaar maken. Gezien de complexiteit van de aanvragen is de ervaring dat rekening gehouden moet worden met een proceduretijd van 16 weken voordat een ontheffing verleend wordt.

#### 11.4. Toekomstige wettelijke eisen

De wetgeving is in Nederland en Europa continu aan wijzigingen onderhevig. Om alle op handen zijnde wijzigingen te bespreken gaat te ver. Een voorname wijziging betreft de invoering van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (afgekort Wabo).

#### Wabo

De Wabo is een nieuwe wet die enkel een procedurele afstemming van huidige vergunningen voorstelt. De inhoudelijke beoordeling blijft in de huidige wettelijke kaders vastgelegd. De procedures die onder de Wabo vallen, komen voort uit:

- de Wet ruimtelijke ordening (projectbesluit, aanlegvergunning);
- de Wet milieubeheer (milieuvergunning, melding 8.19);
- de Woningwet (bouwvergunning, sloopvergunning);
- de Monumentenwet (monumentenvergunning);
- provinciale verordeningen (ontheffing provinciale milieuverordening);
- gemeentelijke verordeningen (kapvergunning, uitwegvergunning, reclamevergunning, et cetera).

daarnaast kunnen nog procedures worden aangehaakt die voortkomen uit:

- de Natuurbeschermingswet (Nb-vergunning);
- de Flora- en faunawet (ontheffing flora en fauna). De invoering van deze wet is voorzien voor medio 2010.

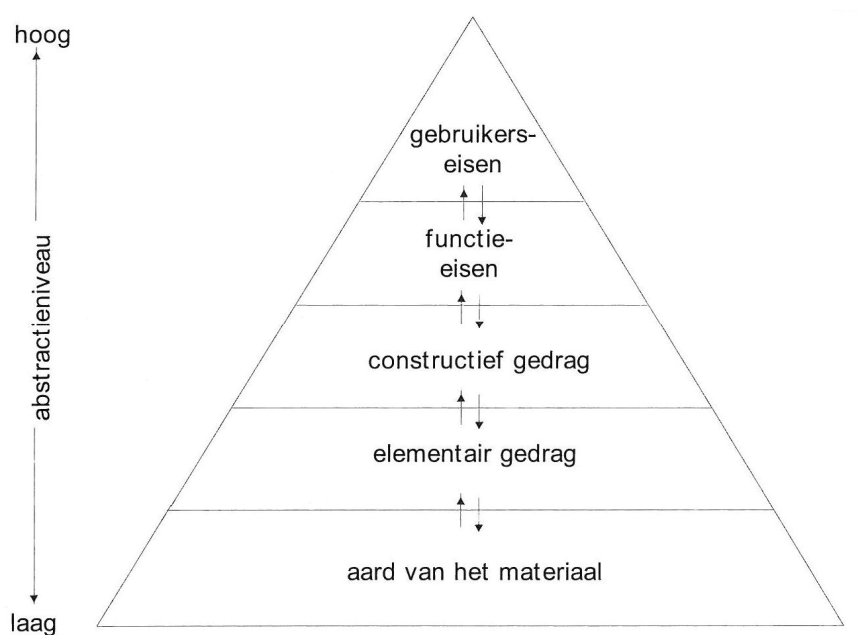
Met de komst van de Wabo worden de procedures aan elkaar gelijk geschakeld. De Wabo kent voor eenvoudige omgevingsvergunningen (bouw, sloop, kap, et cetera) een proceduretijd van acht weken met vervolgens een bezwaartermijn van zes weken. Voor de complexe omgevingsvergunningen (milieu, monumenten, et cetera) is een proceduretijd van 26 weken vastgesteld met daarin zes weken voor een ter inzage legging waarin zienswijzen kenbaar gemaakt kunnen worden. Ook bij de Wabo kan met één aanvraag, bij één bevoegd gezag, met één procedure, één besluit verkregen worden. De Wabo kent echter verschillende procedures, waarin besluiten tezamen, in twee fasen of los verkregen kunnen worden. Het

bevoegd gezag is bij een omgevingsvergunning het 'hoogste' bevoegd gezag. In bijna alle gevallen betreft dit de gemeente. Indien een provinciale milieuvergunning aan de orde is, wordt de provincie het bevoegd gezag.



## Bijlage III: Piramide van eisen

Bij de toepassing van materialen in weg- en waterbouwkundige werken kan een groot aantal eigenschappen van het materiaal van belang zijn. Voorbeelden van materiaaleisen zijn bijvoorbeeld de dichtheid en de sterkte van het materiaal. De eisen die aan het materiaal gesteld worden, hangen af van het constructieonderdeel en het vereiste constructieve gedrag. Deze gedragseisen staan in relatie met functie- en gebruikseisen. Al deze eisen kunnen in samenhang met elkaar in een zogenaamde 'structuur in eisen' beschreven worden. Deze 'structuur in eisen' wordt ook wel de piramide van eisen genoemd. Zie Figuur III-1.



Figuur III-1: Piramide van eisen

Om een ontwerp of de toepassing van een 'nieuw' materiaal te toetsen aan de gebruikerseisen is het mogelijk om volgens bovengenoemde systematiek te handelen en een stappenplan te volgen. In dit stappenplan worden verschillende niveaus van eisen beschreven, van gebruikseisen tot en met de eisen aan de aard van het materiaal. In deze werkwijze komt het er op neer dat de ontwikkelaar:

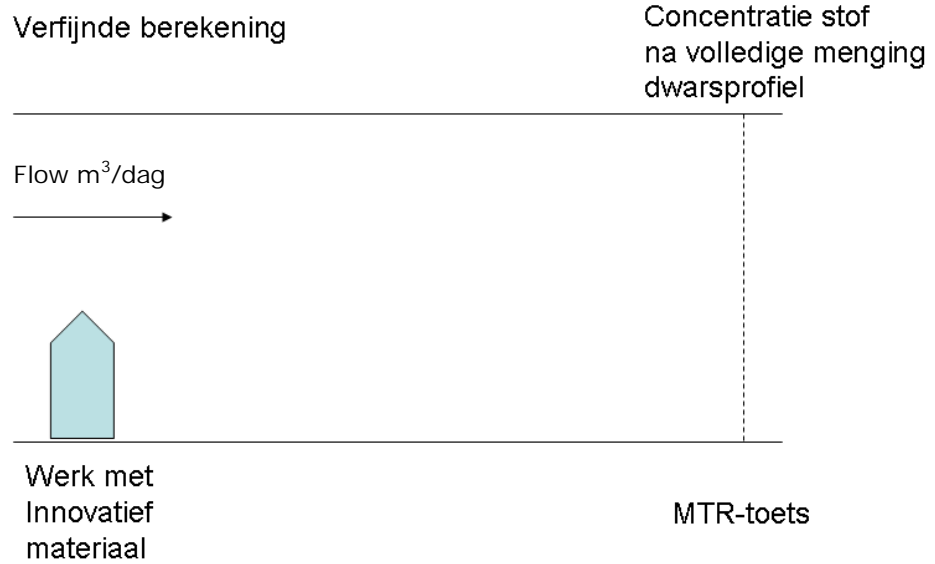
- allereerst bepaalt welke eisen de gebruiker stelt aan een constructie;
- deze gebruikerseisen uiteindelijk via modellen en relaties vertaalt in materiaaleisen;
- met de elementaire gedrageisen een ontwerp maakt;
- door keuringen aantoont dat het materiaal zoals aangebracht in het werk aan de materiaaleisen voldoet.

In Tabel III-1 is voor de toepassing 'immobilisat voor de waterbouw' de systematiek van structuur in eisen doorlopen voor het specifieke constructieonderdeel taludbekleding.

Tabel III-1: Opstellen van materiaaleisen

stap	eisen	omschrijving van de eisen	voorbeelden
1	gebruikerseisen	in het algemeen beleidsmatig verwoorde eisen die de gebruiker stelt aan de constructie	bescherming van het achterliggende gebied tegen overstroming instandhouding van de boezem ten behoeve van waterhuishouding en eventueel als vaarweg kosten arbo en gezondheid milieubelasting totaal ecologie, ecosysteemdiensten conformiteit met wetgeving en beleid mate van acceptatie van risico's
2	functie-eisen	functie van de constructie, onafhankelijk van het ontwerp, en eisen uit wetgeving, beleid en politiek	erosie tegen gaan waterkeren beschutting stroming geleiden duurzaamheid CO2-arm herbruikbaarheid (zonder extra toevoegingen) terugneembaarheid begroeibaarheid biodiversiteit eco-effectief lange termijn validatie van ontwerp
3	constructieve gedragseisen	het gedrag van de constructie of een deel hiervan	evenwichtsdragvermogen (stabiliteit) hoogteverandering erosiebestendigheid duurzaamheid herbruikbaarheid terugneembaarheid uitloging (emissie inclusief straling) ontwikkeling flora en fauna
4	elementaire gedragseisen	het gedrag van het materiaal	wrijvingseigenschappen klink, zwel, collapse, krimp zelfhelend vermogen verwekingsgevoeligheid, weerstand tegen: mechanische belasting, vervorming, vorst-dooi, temperatuursinvloeden, erosie chemische en fysische stabiliteit capillaire werking herbruikbaarheid, terugneembaarheid, uitlooggedrag, straling emissies, uitputting grondstoffen, landgebruik, hinder vruchtbaarheid/substraatgedrag
5	eisen aan de aard van het materiaal	eigenschappen van het materiaal, anders dan gedrageigenschappen	dichtheid, samenstelling, herkomst vreemde bestanddelen, verontreiniging, pH

## Bijlage IV: Emissie-immissie innovatieve materialen



Concentratie stof na menging

= (volume werk\*gem. uitloging gedurende 96 uur)/ flow over vier dagen

Grove benadering  
via emissie-immissie

Concentratie stof  
op 1 km

Flow m<sup>3</sup>/dag



Werk met  
Innovatief  
materiaal

MTR-toets

Concentratie stof op 1 km wordt m.b.v. emissie immissie instrumentarium van CIW berekend. De emissie uit het werk wordt gemodelleerd als puntlozing. Daarbij wordt een geschatte flow door het werk vastgesteld. De emissie is de gemiddelde vracht uit het werk gedurende vier dagen. Deze wordt vertaald in een gemiddeld gehalte in een lozing. Daarna wordt op 1 km afstand de concentratie berekend. De emissie volgt uit uitloogexperimenten



## Bijlage V: Voorbeeld schaalmodelonderzoek

### V.1 Inleiding

In deze bijlage wordt een voorbeeld gegeven van een schaalmodelonderzoek. Het (schaalmodel-)onderzoek kan ook op vele andere manieren worden uitgevoerd. Dit model dient als voorbeeld hoe een schaalmodelonderzoek uitgevoerd zou kunnen worden.

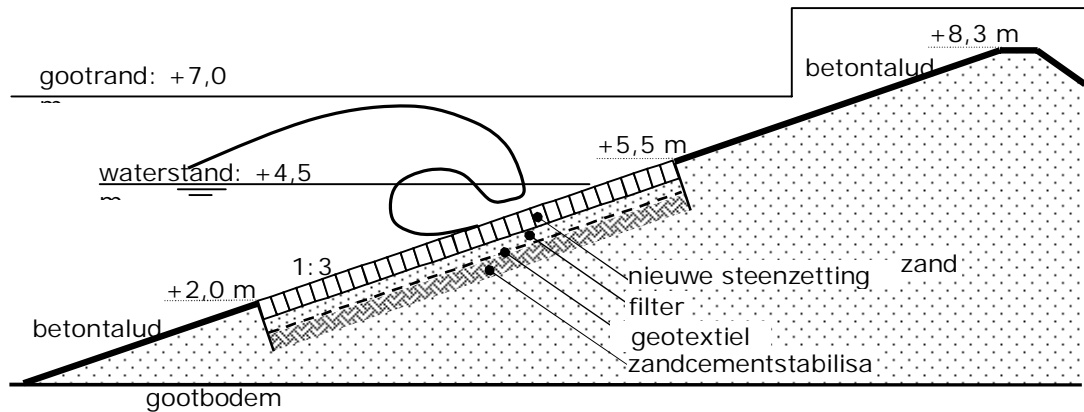
Een fabrikant heeft een nieuw bloktype ontwikkeld en stelt voor om dit bloktype toe te passen als dijkbekleding om dijken te beschermen tegen golfaanval. Gezien het feit dat de stabiliteit van steenzettingen onder golfaanval bepaald wordt door de vorm en afmetingen van de blokken, de vorm en afmetingen van de open ruimte tussen de blokken en de interactie tussen de blokken, en het nog niet mogelijk blijkt om de stabiliteit met behulp van rekenmodellen goed te bepalen, is het voor dit nieuwe type steenzetting noodzakelijk dat de stabiliteit in een grootschalige faciliteit wordt vastgesteld alvorens het toegepast wordt op dijken. Deze golfgoot dient grootschalig te zijn, zodat er op een grote schaal getest kan worden en ongewenste schaaleffecten zoveel mogelijk worden voorkomen. Bij dit type constructie zijn er conflicterende schaalregels vanwege het belang van de stroming in het filter (onder de toplaag) en de golven op het talud.

In de meeste golfgoten kunnen golven opgewekt worden zoals die ook op zee voorkomen, waarbij elke golf een verschillende hoogte en lengte heeft. Deze zogenaamde onregelmatige golven worden gekarakteriseerd door een significante golfhoogte en een golfperiode. Grotere golfgoten kunnen een golfveld creëren met een significante golfhoogte van 1 à 2 meter. Veelal zijn golfschotten uitgerust met een dynamisch reflectiecompensatiesysteem, waardoor alle golven die van de constructie terugkomen automatisch geabsorbeerd worden door het golfschot en niet terug reflecteren tegen de constructie.

### V.2 Modelopstelling

In de golfgoot wordt een dijk op schaal gebouwd met de bewuste steenzetting op een laagje steenslag, zoals dat ook op een werkelijke dijk gebouwd zou worden. De afmetingen van de dijk en de dijkbekleding moeten echter aangepast worden omdat de goot een beperkte capaciteit heeft qua golfhoogte. Hoewel de maximale significante golfhoogte in de goot zeer groot kan zijn, kan de significante golfhoogte tijdens de maatgevende storm die in werkelijkheid optreedt meestal niet in de goot gerealiseerd worden. Daarom wordt een schaalmodel gebouwd op een zo groot mogelijke schaal, begrenst door de afmetingen van de goot en de capaciteit van het golfschot. Veelal wordt er, uiteraard afhankelijk van de situatie in de werkelijkheid en de capaciteit van het golfschot, een geometrische schaal van ongeveer 1:2 bereikt. Dit betekent dat de hoogte van de blokken in dit geval half zo groot moet worden. In een schaalmodel met schaal 2 zijn ook de golven half zo groot (golfhoogte en golflengte), maar is de taludhelling gelijk aan die in werkelijkheid. Een voorbeeld van het schaalmodel is weergegeven in Figuur V-1.

De kern van de dijk wordt gemaakt van zand, met daarop een laag zandcementstabilisatie die een goede weergave is van de kleilaag die normaal in werkelijkheid wordt toegepast. Op de laag zandcementstabilisatie wordt een geotextiel aangebracht en daarop een laagje steenslag. Op het laagje steenslag wordt de te beproeven steenzetting aangebracht.



Figuur V-1: Schematische doorsnede van de te beproeven nieuwe bekleding



Figuur V-2: Modelonderzoek met een steenzetting in de Deltagoot van Deltares

### V.3 Proevenprogramma

Het proevenprogramma bestaat veelal uit het uitvoeren van een aantal series van korteduurproeven waarbij in elke serie de golfhoogte stap voor stap verhoogd wordt totdat er schade aan de bekleding ontstaat, of de maximale capaciteit van de goot bereikt wordt. Variaties tussen de series kunnen variaties in de opbouw van de bekleding zijn (bijvoorbeeld

variaties in plaatsingsafstand of het type blok), maar kunnen ook van hydraulische aard zijn (bijvoorbeeld de golfsteilheid of de golfduur). Na elke proef wordt de bekleding geïnspecteerd om te zien of er al schade is ontstaan. Tussen de verschillende testseries wordt de bekleding weer hersteld. Veelal worden tijdens deze proeven ook drukmeters in de bekleding geïnstalleerd om de drukken op de bekleding en in het filter te registreren. Op deze wijze kan met een zo klein mogelijk aantal proeven een goede indruk verkregen worden van de stabiliteit van de bekleding onder omstandigheden zoals ze voorkomen langs de kust en meren.

In Tabel V-1 is het voorbeeld van een proevenprogramma concreet weergegeven. In dit voorbeeld worden twee testseries uitgevoerd waarbij de golfsteilheid verschillend is per testserie. In deze tabel zijn de volgende symbolen gebruikt:

$H_s$  = significante golfhoogte (m)

$S_{op}$  = golfsteilheid op basis van diepwater golflengte (-)

$T_p$  = golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

Tabel V-1: Proevenprogramma van korteduurproeven (waarden zijn weergegeven als modelwaarden)

	proef	$S_{op}$ (-)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	duur (uur)
eerste serie	1	0,02	0,80	5,06	1,3
	2	0,02	1,00	5,66	1,4
	3	0,02	1,20	6,20	1,6
	4	0,02	1,40	6,70	1,7
tweede serie	5	0,04	1,00	4,00	1,0
	6	0,04	1,20	4,39	1,1
	7	0,04	1,40	4,74	1,2
	8	0,04	1,70	5,22	1,3

Tabel V-2: Proevenprogramma van langeduurproeven (waarden zijn weergegeven als modelwaarden)

	proef	$S_{op}$ (-)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	duur (uur)
derde serie	9	0,04	1,40	4,74	2
	10	0,04	1,40	4,74	4
	11	0,04	1,40	4,74	8
	12	0,04	1,40	4,74	12

In de tabel is te zien dat de golfhoogte tijdens de eerste serie wat lager is dan tijdens de tweede serie, omdat de wat kleinere golfsteilheid een relatief zware belasting geeft op de bekleding. Daardoor zal reeds bij een kleinere golfhoogte schade ontstaan.

Het proevenprogramma van de derde serie is weergegeven in Tabel V-2. Deze serie wordt uitgevoerd met golfcondities die tijdens de eerste twee series nog net geen schade hebben opgeleverd. Hier is verondersteld dat dit bij een golfhoogte van 1,4 meter is. De serie proeven wordt gestopt zodra er schade is ontstaan of de genoemde duur is bereikt. De genoemde waarden in Tabel V-2 zijn op schaal 2 in de goot. De overeenkomstige belastingduur in werkelijkheid is  $\sqrt{2}$  langer, dus totaal 37 uur.

## Bijlage VI: Hydraulische belastingen

### VI.1 Hydraulische belasting

De hydraulische belasting (Hydraulische Randvoorwaarden) voor de toetsing van waterkeringen worden per toetsronde bij ministeriële regeling vastgesteld. Het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor bekledingen is werk voor specialisten. De waterstand-, golf- en probabilistische modellen die hiervoor nodig zijn, worden door RWS ter beschikking gesteld (zie Helpdeskwater.nl).

Bij het bepalen van de ontwerpbelasting voor dijkbekledingen dient rekening te worden gehouden met ontwikkelingen van de belastingen tijdens de planperiode van de bekleding. Enerzijds gaat het om de invloed van een klimaatwijziging die zich manifesteert met hogere rivierafvoeren en zeespiegelstijging, anderzijds de overige toekomstige ontwikkelingen (zoals veranderingen in de geometrie, uitgevoerde maatregelen zoals Ruimte voor de Rivier, et cetera). Voorts wordt door ENW aanbevolen om bij het ontwerp rekening te houden met onzekerheid in de modellen waarmee de hydraulische randvoorwaarden worden bepaald.

Het bepalen van de ontwerpbelasting wordt in deze Handreiking niet behandeld. Hiervoor wordt gerefereerd naar het

- Technisch rapport ontwerpbelastingen voor het rivierengebied [9];
- Leidraad Rivieren [9];
- Addendum I bij Leidraad rivieren [9]
- Addendum I bij de Leidraad Zee- en Meerdijken [5]

### VI.2 Golfbelastingen

Bij de meeste ontwerpen en toetsingen voor dijkbekledingen hoeft alleen rekening te worden gehouden met golven; in bijzondere gevallen kan ook belasting door stroming van belang zijn.

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

#### *Windgolven*

Voor de bepaling van de windgolfbelasting is in de huidige praktijk de zogenaamde Hydra-programmatuur beschikbaar.

Met de Hydra-programmatuur rekent de beheerder of de ontwerper zelf de randvoorwaarden uit. Hydra bevat de statistische informatie van alle relevante parameters voor elke locatie langs de waterkering. De gebruiker voert het profiel van het buitentalud en het vereiste veiligheidsniveau in. Op basis daarvan rekent het programma voor een reeks van waterstanden de maatgevende combinatie van  $H_s$  en  $T_p$  uit. De resultaten van de Hydra-programmatuur kunnen in STEENTOETS ingevoerd worden.

Voor sommige regio's worden de randvoorwaarden bepaald door golfberekeningen te maken bij een aantal gegeven waterstanden met de maatgevende windcondities.

De rekenmethodes worden niet behandeld in deze Handreiking. In de praktijk worden deze berekeningen meestal niet door de ontwerper van de steenzetting gemaakt: de resultaten worden aan hem of haar aangeleverd in de vorm van tabellen waarin de maatgevende

combinatie van  $H_s$  en  $T_p$  voor enkele waterstanden is opgenomen. Dit geldt zowel voor de uitvoer van Hydra als de tabellen die volgen uit de lineaire interpolatie of extrapolatie van de waarden bij willekeurige waterstanden.

Feitelijk zijn dit de randvoorwaarden op 50 à 100 meter uit de kust; in aanvulling daarop kan het soms nuttig zijn om de reducerende invloed van het voorland te berekenen met een eendimensionaal model. In geval van breking op het voorland moet daarbij rekening worden gehouden met een bovenbegrenzing voor de golfhoogte en de golfperiode. Ook in de Hydra-programmatuur kan een ondiep voorland vaak geschematiseerd worden.

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

#### *Scheepsgolven*

Maatgevende waarden voor scheepsgolven worden niet aangeleverd in het Wettelijk toetsinstrumentarium (WTI [14]). De belasting door schepen is sterk locatie bepaald. Schepen veroorzaken primaire golven (frontgolven, waterspiegeldaling en haalgolven) en secundaire golven. Zowel de primaire als de secundaire golven zijn in het algemeen kleiner dan 0,5 meter met een enkele uitschieter naar 1 meter; de periode van de golven is 2 à 5 seconde. Als de ontwerp golfhoogte groter is dan 0,5 à 1,0 meter, zijn scheepsgolven niet maatgevend.

De scheepsgeïnduceerde golfbelasting kan worden berekend met het computerprogramma DIPRO+. In Tabel VI-1 is per golftype weergegeven welke variabelen DIPRO+ uitrekent en hoe deze kunnen worden gebruikt in de rekenmethodes voor steenzettingen.

Tabel VI-1: Toepassing van variabelen van scheepsgeïnduceerde golven voor rekenregels

type golf	uitvoer DIPRO+	invoer rekenregels steenzettingen
Frontgolven	golfhoogte $\Delta h_f$	$\Delta h_f = H_s$
	golfsteilheid $i_f$	$i_f = H_s/L_{0p} = H_s/(gT_p^2/2\pi)$
Waterspiegeldaling	$\Delta h$	$\Delta h = H_s$
Haalgolven	golfhoogte $z_{max}$	$z_{max} = H_s$
	golfsteilheid $i_{max}$	$i_{max} = H_s/L_{0p} = H_s/(gT_p^2/2\pi)$
Secundaire golven	golfhoogte $H_i$	$H_i = H_s$
	golfperiode $T_i$	$T_i = T_p$

#### *Golfparameters*

Golfparameters zijn:

- golfhoogte;
- golfperiode;
- golflengte;
- golfinvalshoek.

#### Golfhoogte

In de rekenmethodes wordt uitgegaan van de significante golfhoogte  $H_s$  aan de teen van het talud. In sommige publicaties wordt deze golfhoogte aangeduid met  $H_{st}$ . Voor brekende golven is de significante golfhoogte per definitie gelijk aan het gemiddelde van het hoogste

1/3 deel van de golven. Voor niet-brekende golven op relatief diep water is de significante golfhoogte gelijk aan de hoogte die door 13,5% van de golven wordt overschreden. In de praktijk wordt  $H_s$  gelijk gesteld aan  $H_{m0}$ , die berekend wordt uit het energiedichtheidsspectrum.

De golfhoogte speelt een rol in de volgende beoordelingssporen:

- toplaaginstabiliteit onder golfaanval: alle niveaus;
- afschuiving: alle niveaus;
- materiaaltransport (vanuit ondergrond én granulaire laag): gedetailleerd;
- erosie van de onderlagen.

Voor alle mechanismen geldt vanzelfsprekend dat een grotere golfhoogte leidt tot een grotere belasting.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter  $\xi_{op}$  worden berekend die als belastingparameter wordt gebruikt in sommige rekenmethodes. Uit de golfhoogte, de hoogte van de toplaagelementen en de dichtheid van de toplaagelementen volgt de verhouding  $H_s/\Delta D$ , die een belangrijke rol speelt in de rekenmethode voor toplaaginstabiliteit.

#### Golfperiode

In de meeste van de behandelde rekenmethodes wordt uitgegaan van de piekperiode  $T_p$ .  $T_p$  is per definitie de golfperiode die hoort bij de top van het golfspectrum (dus bij de golven met de grootste energiedichtheid), aan de teen van het talud.

In sommige gevallen, bijvoorbeeld in de regels van Van der Meer voor breuksteenoverlaging, speelt ook de gemiddelde golfperiode  $T_m$  een rol.  $T_m$  is 10 à 30% kleiner dan  $T_p$ ; de exacte verhouding hangt af van de vorm van het golfspectrum. Hetzelfde geldt voor de spectrale golfperiode  $T_{m-1,0}$ .

#### Golflengte

In de rekenregels wordt meestal gebruikgemaakt van de theoretische golflengte op diep water  $L_0$  met de lokale golfperiode. Deze is gedefinieerd als  $L_0 = gT^2/2\pi$ . De theoretische diepwatergolflengte die hoort bij de piekperiode  $T_p$  wordt aangeduid als  $L_{op}$ .

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

De golfsteilheid speelt een rol in de brekerparameter.

#### Golfinvalshoek

De golfinvalshoek  $\beta$  is gedefinieerd als de hoek tussen de invalrichting van de golven en de normaal op de dijk. Bij loodrechte inval is de golfinvalshoek  $\beta$  dus gelijk aan 0.

### VI.7 Overige parameters

#### Toetspeil

Het Toetspeil speelt in de toetsing van dijkbekledingen geen directe rol als belastingparameter, maar wel een indirecte rol omdat het de hoogste waterstand is waarmee in de toetsing rekening wordt gehouden.

Daarnaast bepaalt de ligging van de bekleding opzichte van het Toetspeil op welke mechanismen moet worden getoetst.

### Stromingsbelasting

Het gaat hier om stroming langs een bekledingen (zoals bij een rivierdijk of -oever) of over een steenzetting (zoals bij een krib of havendam). Een bekleding kan ook op stroming worden belast door golfoploop (bovenin het talud van een zeedijk), maar de parameters van die belasting volgen uit de golfparameters zoals eerder gedefinieerd.

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

In de praktijk wordt aangenomen dat een bekleding niet tegelijk door extreme golven en extreme stroming wordt belast. Er is geen methode beschikbaar voor situaties met een combinatie van deze twee belastingen. In de praktijk wordt alleen rekening gehouden met stromingsbelasting als de maatgevende golfbelasting zeer laag is, bijvoorbeeld in geval van rivierdijken of -oevers. Wél kan bij het berekenen van maatgevende golfbelasting rekening worden gehouden met de invloed van stroming daarop. Als deze situaties zich voordoen, is in het algemeen nadere specialistische studie nodig.

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

### Dichtheid water

In de methoden wordt gewerkt met de relatieve dichtheid van de toplaagelementen, de parameter  $\Delta$ . Definitie:  $\Delta = (\rho_{te} - \rho_w) / \rho_w$ .

met:

$\Delta$	=	relatieve dichtheid	[-]
$\rho_{te}$	=	dichtheid van de toplaagelementen	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	=	dichtheid van water	[kg/m <sup>3</sup> ]

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

In de praktijk wordt alleen onderscheid gemaakt tussen zout water (1025 kg/m<sup>3</sup>) en zoet water (1000 kg/m<sup>3</sup>). De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter.

### Brekerparameter

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

$$\xi_{op} = \tan\alpha / \sqrt{(H_s/L_{op})}$$

met:

$\xi_{op}$	=	brekerparameter	[-]
$\alpha$	=	gemiddelde taludhelling	[°]
$H_s$	=	significante golfhoogte	[m]
$L_{op}$	=	golflengte op diep water ( $gT_p^2/(2\pi)$ )	[m]

In de rekenregels voor steenzettingen wordt vaak de brekerparameter  $\xi_{op}$  gebruikt. Dit is de brekerparameter gebaseerd op de golflengte  $L_{op}$ : de theoretische golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode  $T_p$ . In de rekenregels volgens Van der Meer (in deze Handreiking van



belang voor Noorse steen en breuksteenoverlaging) komt de brekerparameter  $\xi_m$  voor, gebaseerd op de golflengte  $L_{0m}$  die hoort bij de gemiddelde golfperiode  $T_m$ .

#### Golfploopniveau

Het golfploopniveau  $z_{2\%}$  is de verticale afstand ten opzichte van de stilwaterstand die door 2% van de golven wordt overschreden op een fictief oneindig talud met de helling gelijk aan de gemiddelde helling van het werkelijke buitentalud. Een eenvoudige benadering van de waarde van  $z_{2\%}$  voor dijken zonder berm kan worden geschat met de formule:  $z_{2\%} = 1,75H_s\xi_{op}$ . Een nauwkeurige waarde kan bepaald worden met PC-overslag.



## COLOFON

Opdrachtgever  
Informatie

Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen  
Helpdesk Water  
T 0800-NLWATER (0800-6592837)  
[contact@helpdeskwater.nl](mailto:contact@helpdeskwater.nl)  
[www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)

Datum

Januari 2015