



## **Schematiseringshandleiding steenzetting**

WBI 2017

Datum	1 december 2016
Status	Definitief



## Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water, <a href="http://www.helpdeskwater.nl">www.helpdeskwater.nl</a>
Contact	<a href="mailto:helpdeskwater@rws.nl">helpdeskwater@rws.nl</a>
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	1 december 2016
Status	Definitief
Versienummer	2.0



## Inhoud

### **Schematiseringshandleidingen en WBI 7**

#### **1 Inleiding Schematiseringshandleiding steenzetting 9**

- 1.1 Beoordeling van steenzettingen 9
- 1.2 Opbouw 11

#### **2 Stappenschema 13**

#### **3 Proces van gegevens verzamelen 17**

- 3.1 Algemeen 17
- 3.2 Verzamelen van gegevens 18
  - 3.2.1 Fase 1: inventarisatie van archief- en beheerdersgegevens 18
  - 3.2.2 Fase 2: niet-destructieve inspectie in het veld 18
  - 3.2.3 Fase 3: openbreken van de bekleding 19
  - 3.2.4 Fase 4: laboratoriumonderzoek 19
  - 3.2.5 Fase 5: gegevens voor toets op maat 19

#### **4 Vakindeling 21**

- 4.1 Stap 1: Dijkvakindeling op basis van eigenschappen van de dijk en bekledingen 22
- 4.2 Stap 2: Vakindeling eventueel aanpassen op basis van hydraulische belastingen 23
- 4.3 Aanpassing kilometrering ten behoeve van Ringtoets 24

#### **5 Hydraulische belastingen 27**

- 5.1 Type watersysteem 27
- 5.2 Waterstand bij de norm 27
- 5.3 Waterstandsverloop 27
- 5.4 Volumieke massa water 29
- 5.5 Buitenwaterstand 29
- 5.6 Golfbelastingen 29
- 5.7 Stroomsnelheid 30

#### **6 Parameters 31**

- 6.1 Essentiële parameters 31
- 6.2 Havendam of lage dijk 31
- 6.3 Richting normaal op dijk 32
- 6.4 Voorland: niveau bij de teen  $z_{\text{voorland}}$  en helling  $\tan \alpha_{\text{bodem}}$  32
- 6.5 Niveau ondergrens en bovengrens van het bekledingssegment 33
- 6.6 Type toplaag 34
- 6.7 Type onderlagen 38
- 6.8 Toplaagdikte D39
- 6.9 Breedte B en lengte L van de zetstenen 41
- 6.10 Spleetbreedte van de langs-  $s_l$  en stootvoegen  $s_s$  41
- 6.11 Open oppervlak  $\Omega$  42
- 6.12 Gaten in de steen 43
- 6.13 Karakteristieke opening 43
- 6.14 Soortelijke massa van de stenen  $\rho_s$  en van water  $\rho_w$  43
- 6.15 Inwasmateriaal 44
- 6.16 Kwaliteit van de klemming van de toplaag 44
- 6.17 Oneffenheden havendam 45
- 6.18 Kwaliteit van een ingegoten steenzetting 45
- 6.19 Eigenschappen van geotextiel tussen toplaag en filter 46

- 6.20 Eigenschappen van het granulaire filter46
- 6.21 Eigenschappen van het geotextiel onder de filterlaag 47
- 6.22 Dijkopbouw en kleilaagdikte47
- 6.23 Dijkbreedte op niveau van de waterstand bij de norm 48
- 6.24 Kwaliteit klei 49
- 6.25 Karakteristieke korrelgroottes van het zand 50
- 6.26 Type bovenste overgangsconstructie 51

## **7 Voorbeeld 55**

- 7.1 Inleiding 55
- 7.2 Hydraulische belastingen 55
- 7.3 Inventarisatie van de steenzettingen 56
- 7.4 Vakindeling 59

## **A Literatuur63**

## **B Typen steenzettingen 65**

## **C Lijst van parameters 69**

## **D Schema werkwijze beoordeling steenzetting 73**

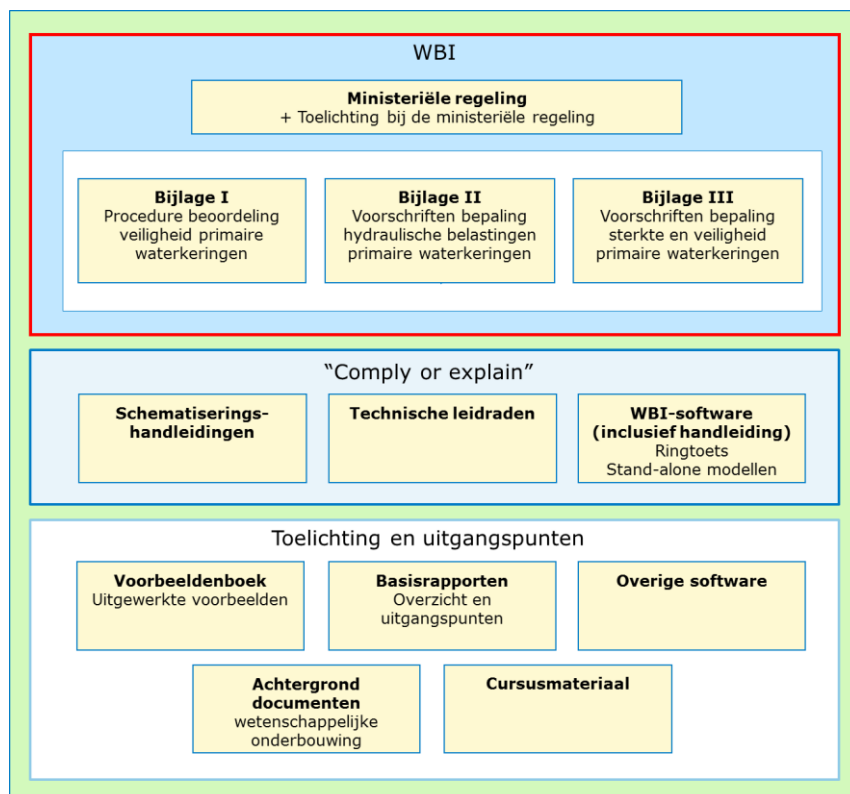
- D.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 73
- D.2 Schema werkwijze beoordeling Stabiliteit steenzetting (ZST) 74
- D.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Stabiliteit steenzetting (ZST) 74
  - D.3.1 Activiteit 'data verzamelen' 74
  - D.3.2 Activiteit 'schematiseren' 74
  - D.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen' 74
  - D.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel' 75
  - D.3.5 Activiteit 'analyseren' 75
  - D.3.6 Toelichting bij de referenties 75

## Schematiseringshandleidingen en WBI

Deze schematiseringshandleiding is opgesteld in het kader van het Wettelijk Beoordelings-instrumentarium (hierna: WBI 2017 of WBI). Het WBI voor de beoordelingsronde 2017-2023 bestaat uit de ministeriële regeling en 3 bijlagen. Die drie bijlagen zullen verder worden aangeduid als:

- *WBI 2017 Bijlage I Procedure.*
- *WBI 2017 Bijlage II Hydraulische belastingen.*
- *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid.*

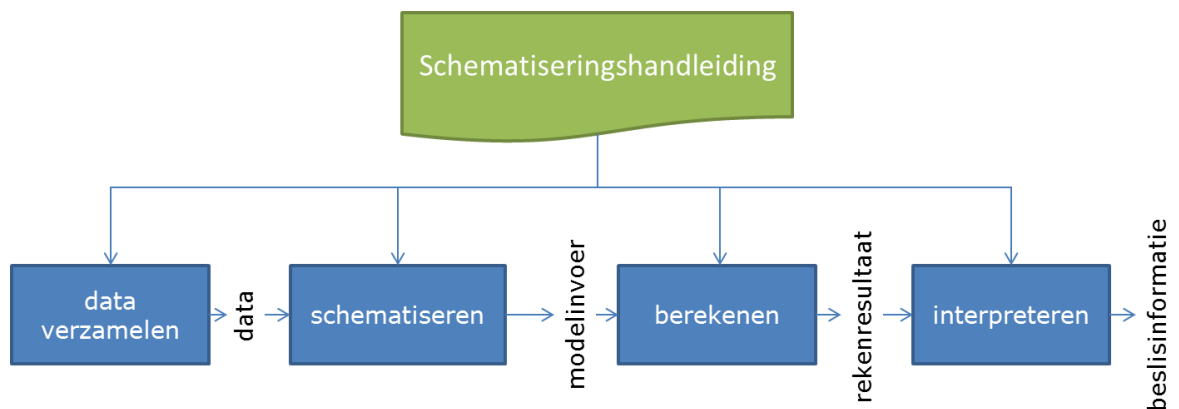
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.



Figuur 1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

### Doel

Het uitvoeren van een toets (eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of toets op maat) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 2. In een schematiseringshandleiding wordt, gegeven een rekenmethode of model, de samenhang aangegeven tussen deze vier activiteiten: welke data benodigd is, hoe moet worden geschematiseerd, welke software hiervoor beschikbaar is en in sommige gevallen hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd.



Figuur 2 Activiteiten verbonden met een toets

De activiteit schematiseren wordt hier gedefinieerd als het vertalen van de gegevens over de waterkering naar invoer voor de methode (meestal een rekenmodel al dan niet in software) waarmee de toets wordt uitgevoerd. De gegevens kunnen meetgegevens zijn uit het veld of het laboratorium, ontwerp- of revisietekeningen zijn, maar kunnen ook kennis en ervaring betreffen. Bij het schematiseren speelt de beschikbare hoeveelheid gegevens en de kwaliteit ervan een grote rol. Bij weinig gegevens is de schematisering grof of globaal en met een grote onzekerheid. Naarmate er meer en betere gegevens beschikbaar zijn, wordt de schematisering fijner en preciezer.

Het doorlopen van de vier activiteiten is in veel gevallen een iteratief proces. Zeker als ervoor wordt gekozen om te starten met een grove schematisering. In de vierde activiteit wordt bekeken of door het inwinnen van extra gegevens en/of het verfijnen van de schematisering, het resultaat van de derde activiteiten kan worden aangescherpt. Het is uiteraard ook mogelijk om meteen te kiezen voor een gedetailleerde schematisering.

De schematiseringshandleiding geeft aanwijzingen voor het type en de benodigde hoeveelheid aan onderzoek om tot een goede schematisering te kunnen komen. Verder ondersteunt de schematiseringshandleiding gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de toets kan worden toegepast. De wijze waarop gegevens ingewonnen moeten worden (bijvoorbeeld hoe veldonderzoek of laboratoriumonderzoek uitgevoerd wordt) wordt slechts summier behandeld.

*Deze handleiding is specifiek opgesteld voor het beoordelen van primaire waterkeringen en kan daarom niet zomaar worden toegepast voor andere doeleinden (regionale keringen, ontwerp, et cetera). Onderdelen van de schematiseringshandleiding zijn mogelijk wel toepasbaar voor andere doeleinden, maar op punten zal deze handleiding niet van toepassing of onvolledig zijn.*

### **Uitgangspunten**

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement WBI [3].
- Deze schematiseringshandleiding ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.
- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens aanwijzingen voor default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als meetgegevens niet aanwezig zijn.

### **Doelgroep**

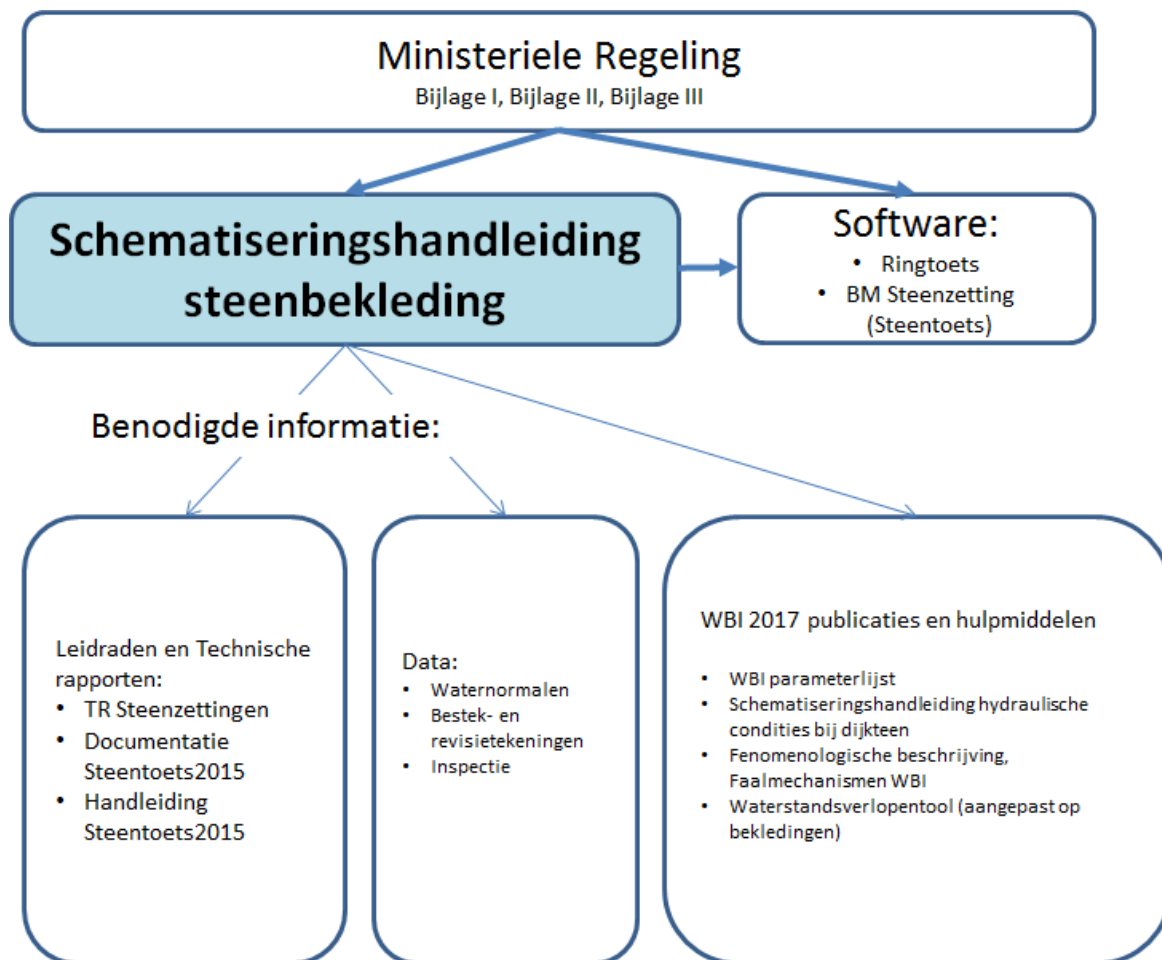
De schematiseringshandleiding is geschreven voor een deskundig gebruiker die bekend is met de voorschriften en de (deel)faalmechanismen en modellen die van toepassing zijn voor deze schematiseringshandleiding.



# 1 Inleiding Schematiseringshandleiding steenzetting

## 1.1 Beoordeling van steenzettingen

Deze schematiseringshandleiding geeft een gedetailleerde omschrijving van de wijze waarop de benodigde gegevens kunnen worden vergaard voor de beoordeling van steenzettingen. De positie van de schematiseringshandleiding steenbekleding ten opzichte van de overige bouwstenen is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 1.1 De positie van de schematiseringshandleiding steenbekleding ten opzichte van de andere bouwstenen

Hoewel er veel meer aspecten van de dijk beoordeeld moeten worden, wordt in dit rapport alleen aandacht besteed aan het toetsspoor *stabiliteit steenzetting*. Sommige gegevens, zoals bijvoorbeeld de geometrie van de dijk en hydraulische belastingen, zijn ook nodig voor andere bekledingen of toetsspooren. In sommige gevallen zullen deze gegevens hetzelfde zijn, maar het kan ook zijn dat het ene toetsspoor een andere mate van detail of andere hydraulische belastingen vergt dan het andere toetsspoor. In dit rapport wordt alleen beschouwd wat er nodig is voor het beoordelen van steenzettingen, zonder de verschillen te benoemen met de andere toetsspooren.

Steentoets2015 v15.1.3.1 opgetuurd (Compatibility Mode) - Microsoft Excel

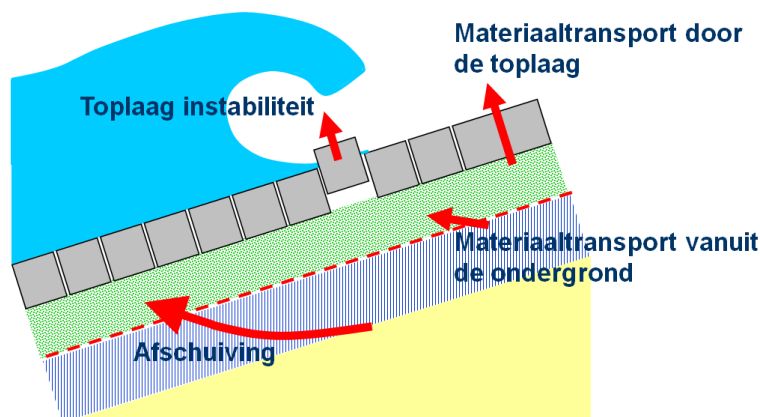
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		Westerschelde																		
		vlak-	dwars-	Subvakgrenzen																
		nummer	profiel	randvw.	& vlak															
				van	tot															
		Naam van dijkvak																		
8		Zuidermeerdijk	1	12	2.4	2.8	1966					-0.5	0.01	-0.5	0.2	0.25				
9		Zuidermeerdijk	2	12	2.4	2.8	1977	2001			50			0.2	3.5	0.3				
10		Zuidermeerdijk	5	12	2.4	2.8	1950	1997			50			3.5	5.2	0.38462				
11		Zuidermeerdijk	6	12	2.4	2.8					50			5.2	5.3	0.04				
12		Zuidermeerdijk	7	12	2.4	2.8					50			5.3	8	0.25				
13		Noordermeerdijk	24	11	12.1	13					-20	-0.1	0	0.1	2	0.2375				
14		Noordermeerdijk	23	11	12.1	13					-20			2	5	0.33333				
15		Noordermeerdijk	22	11	12.1	13					-20			5	8	0.23077				
16		Havendam	1	3	47	48					30	0.3	0.02	0	3	0.2				
17		Havendam	3	3	47	48					30	0.3	0.02	3	4.5	0.3				

Figuur 1.2 Screenshot van Steentoets (in elke regel wordt een segment van de steenzetting ingevoerd, terwijl een groep segmenten samen een complete dwarsdoorsnede vormt)

Al jaren worden steenzettingen beoordeeld met het rekenmodel Steentoets (Handleiding Steentoets [4]), zie Figuur 1.2, dat op termijn ook opgenomen gaat worden in Ringtoets. Voorlopig wordt er van uitgegaan dat de beoordeling nog met een stand-alone versie van Steentoets moet worden uitgevoerd.

Hierin worden de volgende (faal)mechanismen beschouwd, zie Figuur 1.3:

1. Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG (een zetsteen wordt uit de steenzetting gelicht als gevolg van brekende golven op het talud).
2. Toplaaginstabiliteit onder langsstroming ZTS (een zetsteen wordt uit de steenzetting gelicht als gevolg van sterke stroming langs de dijk).
3. Afschuiving ZAF (als gevolg van brekende golven op het talud ontstaat er een vervorming van de ondergrond waardoor er een S-profiel ontstaat en het verband in de steenzetting verloren gaat).
4. Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO (de waterbeweging in het filter is zodanig dat het onderliggende zand of klei gaat eroderen en uitspoelt, waardoor de toplaag verzakt en zijn samenhang verliest).
5. Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG (de korrels van het filter spoelen uit door de gaten in de toplaag, waardoor de toplaag verzakt en zijn samenhang verliest).



Figuur 1.3 Enkele bezwijkmechanismen van steenzettingen

Na deze mechanismen is er nog sprake van reststerkte (Erosie van de onderlagen ZEO), behalve bij het mechanisme afschuiving. Bij het mechanisme afschuiving wordt geen rekening gehouden met de erosie van de onderlagen, omdat er veiligheidshalve van uitgegaan wordt dat dit mechanisme leidt tot een direct contact van de golven met de ondergrond van zand (falen van de bekleding).

De toetssporen *Invloed overgangen op toplaagstabiliteit* (ZOI) en *Bezwijken overgang-, teen- of aansluitingsconstructie* (ZOB) zijn komen te vervallen. In deze schematiseringshandleiding wordt ervan uitgegaan dat de bekleding en de bijbehorende overgangsconstructies in het kader van de zorgplicht regelmatig worden geïnspecteerd en dat daaruit voortkomend onderhoud is afgerond op de peildatum, zie ook paragraaf 3.2.1 van *WBI 2017 Bijlage I Procedure*. Als niet aan dat uitgangspunt wordt voldaan, dan is dat reden om een *toets op maat* uit te voeren, hetgeen buiten het kader van deze schematiseringshandleiding valt. In deze schematiseringshandleiding wordt daarom geen aandacht besteed aan de beoordeling van overgangen, teenconstructie of aansluitingen. Er wordt buiten het WBI gewerkt aan een handreiking voor de zorgplicht.

Achtergrondinformatie over de bezwijkmechanismen is te vinden in het Technisch Rapport Steenzettingen [7] en in de Samenvatting onderzoeksresultaten 2003-2013 [6]. Er is geen *eenvoudige toets*. Er wordt daarom direct gestart met een *gedetailleerde toets* (semi-probabilistisch met veiligheidsfactoren).

De Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS) wordt niet beoordeeld, maar er wordt wel gecheckt of dit mechanisme relevant is. Als dat zo is, wordt doorverwezen naar de *toets op maat*.

Voorbeelden van enkele veel voorkomende type steenzettingen zijn met een foto opgenomen in paragraaf 6.6. Een complete lijst van alle typen is gegeven in bijlage A. Een lijst met alle parameters, waarmee de steenzetting wordt gekwantificeerd ten behoeve van de beoordeling, is gegeven in bijlage B. Voor de beoordeling wordt gebruikgemaakt van de gemiddelde waarden van de parameters, tenzij anders vermeld.

Soms worden steenzettingen versterkt met een extra laag bovenop de steenzetting omdat de sterkte tekortschiet. Dit wordt overlagen genoemd. Voorbeelden van overlagen zijn:

- overlaging met losse breuksteen.
- overlaging met vol en zat gepenetreerde breuksteen.
- overlaging met nieuwe steenzetting op een uitvullaag.
- overlaging met polyurethaan gebonden steenslag (PBA).

Dergelijke overlagen kunnen nog niet beoordeeld worden in Steentoets en vallen dus buiten het kader van deze schematiseringshandleiding. In 2017 zal naar verwachting wel een speciale Steentoetsversie voor de beoordeling van enkele van deze bekledingen beschikbaar zijn.

## 1.2

### Opbouw

De opbouw van deze handleiding is als volgt:

Onderwerp	Locatie
Stappenschema	Hoofdstuk 2
Gegevens verzamelen	Hoofdstuk 3
Vakindeling	Hoofdstuk 4
Parameters	Hoofdstuk 5
Voorbeeld	Hoofdstuk 6

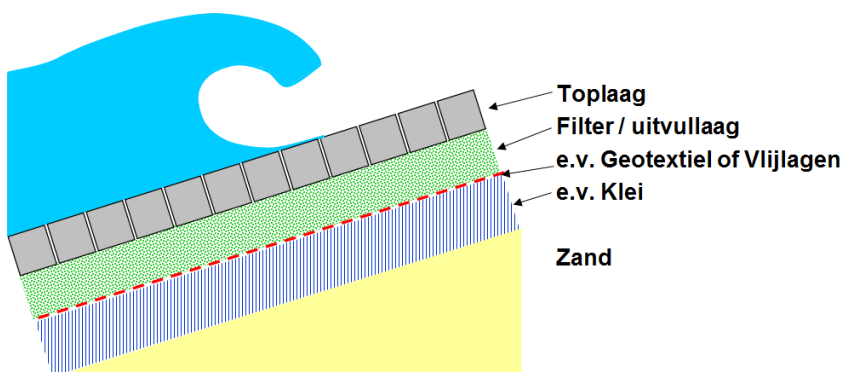
Het *stappenschema* in hoofdstuk 2 vormt de basis van de schematiseringshandleiding. Dit stappenschema geeft een overzicht van de te volgen stappen voor het schematiseren. Voor veel stappen wordt een verwijzing gegeven naar een paragraaf of hoofdstuk van deze schematiseringshandleiding waarin de betreffende stap verder wordt uitgewerkt. Het hoofdstuk 2 kan dus als leeswijzer of leidraad voor het toepassen van dit rapport worden gebruikt.

Voor een omschrijving van begrippen wordt verwezen naar de algemene begrippenlijst die is opgenomen als Appendix B van *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.



## Stappenschema

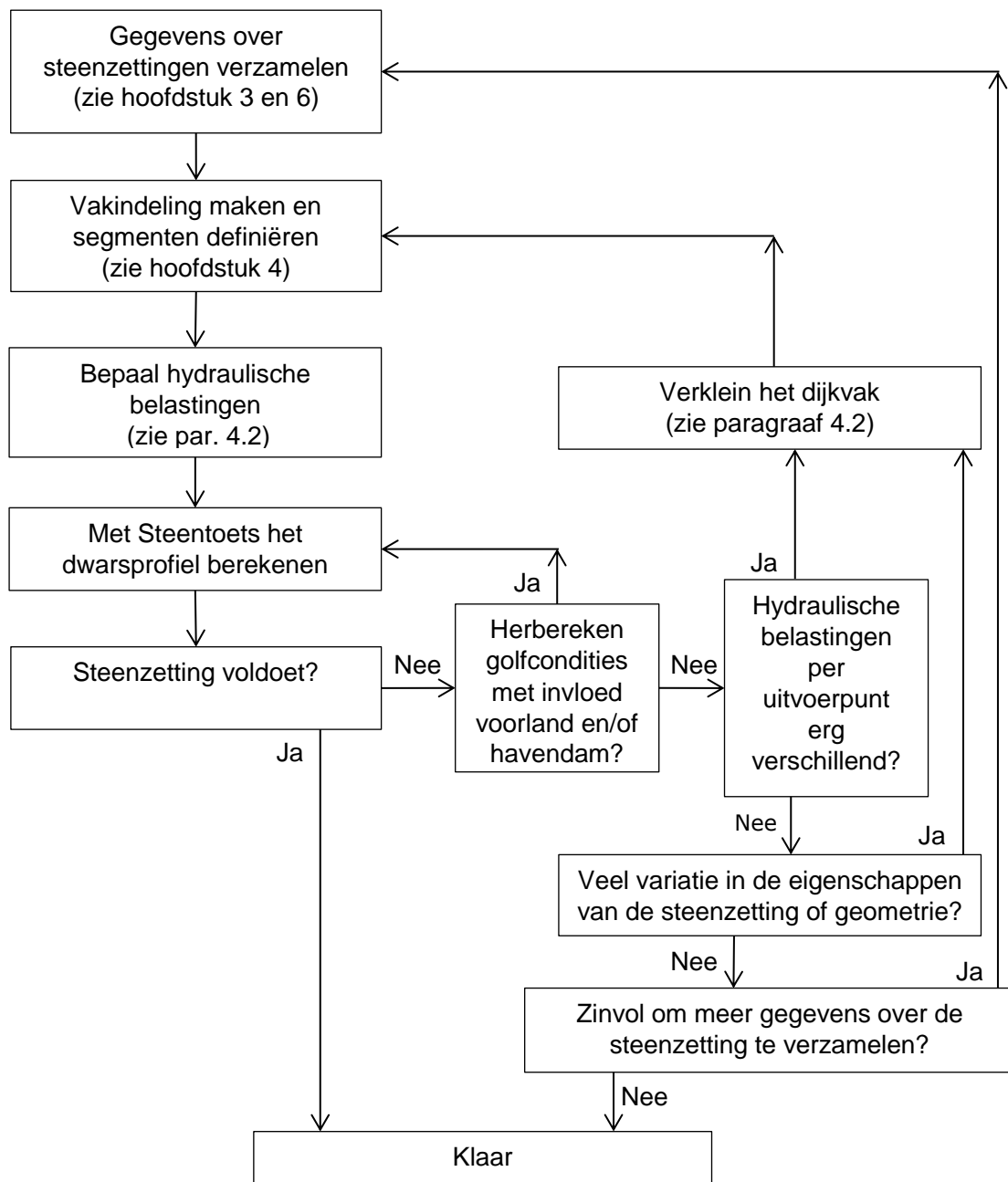
Het is goed denkbaar dat heel veel gegevens over de steenzettingen tijdens de 2<sup>e</sup> of 3<sup>e</sup> toetsronde al vastgelegd zijn in Steentoets bestanden. Als deze nog actueel zijn, dan kunnen deze geladen worden in de door het WBI aangewezen Steentoets. Er hoeft dan alleen aandacht geschonken worden aan de ontbrekende gegevens of verouderde gegevens. Van sommige gegevens mag verwacht worden dat ze veranderen per beoordelingsronde (zoals de belastingen) of in de tijd (zoals het niveau van het voorland). Het is noodzakelijk om dergelijke gegevens in elke toetsronde opnieuw te bepalen.



Figuur 2.1 De steenzettingsconstructie op de zandkern van de dijk

Als er echter nog geen gegevens zijn, dan wordt aanbevolen het stappenschema uit dit hoofdstuk te volgen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de volgende begrippen, zie ook Figuur 4.2 en Figuur 4.3:

- Steenzettingsconstructie, zie Figuur 2.1, die kortweg steenzetting wordt genoemd:  
Met een steenzettingsconstructie worden alle lagen bedoeld op de zandkern van de dijk, die samen tot doel hebben om de dijk te beschermen tegen golven en stroming. Zij kan bestaan uit de volgende lagen:
  - toplaag van gezette steen
  - granulair filter (eventueel meerdere lagen)
  - geotextiel of vlijlagen
  - granulaire onderlaag
  - kleilaag (of bovenste deel kleikern)
 Eventueel kunnen een of meer lagen afwezig zijn.  
Samengestelde toplagen (zoals een overlaging van een steenzetting met breuksteen) vallen buiten het kader van dit rapport omdat deze niet met Steentoets beoordeeld kunnen worden. Daarvoor is een *toets op maat* nodig.
- Segment:  
Een (bekledings-)segment is een oppervlak op de dijk waarbinnen de eigenschappen van de bekleding in de schematisering constant (homogeen) zijn. Alle eigenschappen (gemiddeld per vierkante meter) van de gehele steenzettingsconstructie zijn zodanig geschematiseerd dat ze overal in het segment hetzelfde zijn. Het wordt boven en onder begrensd door (doorgaans) horizontale overgangen (overgangsconstructies) naar een andere steenzetting of andere bekleding (asfalt, gras). Links en rechts wordt het door (doorgaans) verticale overgangen (overgangsconstructies) begrensd, waarmee het aansluit op de bekleding of het kunstwerk ernaast.
- Dijkvak:  
Een dijkvak is een deel van de dijkstrekking dat voor de beoordeling gerepresenteerd wordt door één dwarsprofiel met per segment (steenzettingsconstructie) constante eigenschappen (homogeen) en een representatieve set hydraulische belastingen. Een dijkvak kan verschillende segmenten in het dwarsprofiel hebben.



Figuur 2.2 Schema voor cyclisch proces van gegevens inwinnen en schematiseren van de bekleding

Stapsgewijs verloopt het verzamelen van gegevens en de beoordeling op hoofdlijnen als volgt:

1. Inventariseren eigenschappen van de steenzettingen. De relevante eigenschappen met wijze van gegevensbepaling is te vinden in hoofdstuk 6.
2. Begin en eind bepalen van bekledingssegmenten op basis van eigenschappen van de dijk en de steenzettingen. Dit is nader toegelicht in paragraaf 4.1.
3. Het kiezen van de maatgevende hydraulische belastingen (HB-uitvoerpunt toewijzen aan elk dijkvak).
4. Het invoeren in Steentoets en uitvoeren van de berekening.
5. Als de steenzetting niet voldoet moet een nauwkeuriger beoordeling worden verkregen door:
  - het verkleinen van de dijkvakken, zie paragraaf 4.2, en/of

- het herberekenen van de golfcondities met de invloed van het ondiepe voorland voor de dijk of voorliggende havendam, zie *Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen*.

Zoals toegelicht in paragraaf 3.2 kan dit proces cyclisch verlopen, zie Figuur 2.2.

De indeling in dijkvakken kan gebeuren op basis van de hydraulische belastingen langs de dijk, de eigenschappen van de steenzetting en de geometrie van de dijk. Als een van deze aspecten in belangrijke mate verandert, start er een nieuw dijkvak. Dit is nader uitgelegd in hoofdstuk 4.

Voor dit toetsspoor is de golfbelasting een relevant onderdeel van de hydraulische belastingen. Voorlanden en/of dammen die aanwezig zijn voor de waterkering, hebben veelal een reducerende werking op deze golfbelasting. Het schematiseren van deze dammen en voorlanden is daarom een mogelijk noodzakelijk onderdeel van het schematiseren van dit toetsspoor.

In de *Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen* is informatie te vinden over het meenemen van voorliggende dammen en voorlanden in de schematisering van dit toetsspoor.

Opgemerkt wordt dat er voor de *eenvoudige toets* er geen data nodig zijn, omdat er voor steenzettingen geen *eenvoudige toets* is.





## 3 Proces van gegevens verzamelen

### 3.1 Algemeen

Er bestaat een verband tussen de gedetailleerdheid van bepaalde gegevens en vakindeling enerzijds en de nauwkeurigheid van de toetsscore anderzijds: een laag detailniveau kost in eerste instantie doorgaans minder inspanning, maar leidt tot conservatieve toetsresultaten. Dit is geen probleem als de gehele bekleding desondanks *voldoet*: met minder conservatieve parameterwaarden zou de bekleding ook dan voldoen. **Een beoordeling met minder conservatieve parameterwaarden zal echter doorgaans leiden tot een gunstiger resultaat.** Grofweg kunnen twee manieren worden onderscheiden waarop het beoordelingsproces kan worden doorlopen: een lineair proces zonder terugkoppelingen en een iteratief proces waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt:

- *Lineair proces:*  
Een lineair proces houdt in dat wordt geprobeerd om direct alle gegevens te verzamelen die misschien in het beoordelingsproces nodig zullen zijn en dat een relatief gedetailleerde dijkvakindeling wordt gekozen. Het werken volgens een lineair proces heeft als nadeel dat inspanningen worden geleverd die (gedeeltelijk) achteraf voor de beoordeling niet nodig blijken te zijn. Bovendien is het mogelijk dat uit de beoordeling blijkt dat alsnog meer gegevens nodig zijn. Maar het heeft ook voordelen om te werken volgens een lineair proces:
  - De totale doorlooptijd is vaak korter.
  - Eén grote inventarisatie is vaak efficiënter dan een aantal kleine inventarisaties.
  - De beheerder verkrijgt gegevens die ook nuttig kunnen zijn voor andere doeleinden (bijvoorbeeld verbeteringswerken of beheersregister).
- *Iteratief proces:*  
Bij de tweede methode, volgens een iteratief proces van grof naar fijn, wordt in eerste instantie gewerkt met de gegevens die al beschikbaar zijn of die eenvoudig kunnen worden bepaald, en met een grove vakindeling. Voor de overige parameters dient een conservatieve keuze te worden gemaakt en bij twijfel dient de gevoeligheid van de parameter te worden bepaald. Op grond van de bijbehorende resultaten wordt besloten of meer diepgaande gegevens nodig zijn en of de vakindeling moet worden verfijnd, zie Figuur 2.2.  
Doordat in eerste instantie wordt gewerkt op een relatief laag detailniveau zijn de toetsresultaten conservatief. De verdere werkwijze per dijkvak hangt af van de beoordeling:
  - Als de bekleding voldoet, ondanks de conservatieve benadering, is verdere detaillering van het betreffende dijkvak niet nodig.
  - Als de bekleding (nog) niet voldoet, kan het zinvol zijn de vakindeling te detailleren om het 'onvoldoende' deel van de steenzetting als het ware te isoleren. Hiervoor zijn gegevens nodig van hetzelfde niveau als in de eerste iteratieslag, maar met een grotere meetdichtheid ('verfijning').

Met het verzamelen van aanvullende gegevens begint de volgende iteratieslag. Met behulp van de verfijnde en/of verdiepte gegevens worden nieuwe dijkvakken vastgesteld en wordt de beoordeling opnieuw uitgevoerd, tot het maximale niveau dat haalbaar is en dat nodig is om een eindscore te bereiken. Vervolgens wordt op basis van de resultaten van de beoordeling opnieuw per dijkvak besloten of het nodig is de gegevens te verdiepen of te verfijnen.

Het cyclische proces moet in elk geval doorgaan totdat alle parameters nauwkeurig zijn vastgesteld. Voor dijkvakken die (nog) niet voldoen, moet per iteratie worden besloten of verdere verfijning van de vakindeling en schematisatie de moeite loont.

Deze methode houdt echter het risico in dat de conservatief geschatte gegevens als waar in de archieven worden opgenomen, wat vervuiling van de data geeft en in een volgende toetsronde tot een onnodig slechte score van de steenzettingen kan leiden.

De afweging tussen de twee methoden zal per geval moeten worden gemaakt en is afhankelijk van de beschikbare doorlooptijd voor de beoordeling en de inschatting of de bekleding wel of niet voldoet. Daarbij geldt als criterium dat werken volgens een iteratief proces meer voor de hand ligt als later in het proces voldoende tijd beschikbaar is voor een tweede ronde van gegevensverzameling en beoordeling, of als vooraf wordt ingeschat dat de beoordeling met globale gegevens snel tot een eindscore leidt.

Sommige gegevens over de steenzetting zijn essentieel om überhaupt een beoordeling te kunnen uitvoeren. Deze zijn gegeven in paragraaf 6.1.

### 3.2

#### **Verzamelen van gegevens**

Er worden vijf praktische fases van gegevensverzameling onderscheiden:

1. Inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens en gebruik van standaardwaarden.
2. Niet-destructieve inspectie op de dijk.
3. Openbreken van de bekleding.
4. Laboratoriumonderzoek.
5. Gegevens voor geavanceerde analyse in de *toets op maat*.

Het overschakelen naar een nauwkeuriger fase van gegevensverzameling wordt aangeduid als 'verdieping'. In de praktijk wordt overigens vaak gewerkt met gegevensinwinformulieren om de ingewonnen gegevens vast te leggen. Op deze formulieren staan de reeds bekende gegevens al ingevuld.

#### 3.2.1

##### *Fase 1: inventarisatie van archief- en beheerdersgegevens*

Het kenmerk van de eerste fase is dat de gegevens kunnen worden verzameld zonder veldwerk. Het is mogelijk dat op deze wijze alle benodigde gegevens kunnen worden verzameld, als de beschikbare gegevens een goed beeld geven van de actuele toestand. Contractgegevens kunnen in sommige gevallen dienen als een conservatieve benadering van de werkelijke waarden, maar dan moet aangetoond zijn dat het werk conform de contracteisen is uitgevoerd. Voor veel parameters zijn veilige standaardwaarden beschikbaar, die in eerste instantie kunnen worden gebruikt voor de beoordeling. Overigens moet voorzichtig worden omgegaan met de gegevens uit fase 1; aanbevolen wordt om in ieder geval een steekproefsgewijze controle uit te voeren in het veld (fase 2 of nauwkeuriger). Tekeningen die gemaakt zijn tijdens de contract- of aanbestedingsfase kloppen vaak niet met wat er daadwerkelijk gebouwd is. "As built"-tekeningen, of revisie tekeningen/gegevens, zijn dan betrouwbaarder, maar hoeven ook niet altijd te kloppen. Let daarbij ook op de informatie over latere reparaties of aanpassingen.

#### 3.2.2

##### *Fase 2: niet-destructieve inspectie in het veld*

Dit betreft bijvoorbeeld een visuele inspectie.

Normaal gesproken wordt niet-destructieve veldinspectie in het kader van de zorgplicht uitgevoerd, maar kan herhaald worden in het kader van de beoordeling. Het levert belangrijke informatie over de toestand van de steenzetting, de kwaliteit van het zetwerk en de overgangsconstructies. Een specifiek aandachtspunt is de mate van inwassing van de steenzetting, behalve bij steenzettingen die niet ingewassen worden zoals rechthoekige betonblokken. Het inwasmateriaal moet ten minste tot de helft van de spleetdiepte aanwezig zijn (minstens  $\frac{3}{4}$  van voetheogte bij Hillblocks), anders kan de steenzetting niet als geklemd beschouwd worden.

Verder dient deze inspectie ter verificatie van de archiefgegevens over vakgrenzen en bekledingstypen.

Als er innovatieve niet-destructieve meettechnieken beschikbaar zijn, dan zouden deze in deze fase toegepast kunnen worden.

### 3.2.3

#### *Fase 3: openbreken van de bekleding*

Als er onvoldoende gegevens over de steenzetting beschikbaar zijn, of als er twijfel is over de kwaliteit ervan, moet de steenzetting opengebroken worden. Dit klinkt erger dan het is: het is vrij eenvoudig om een steen uit de steenzetting te lichten en na het uitvoeren van metingen de bekleding weer dicht te maken.



Figuur 3.1 Het openbreken van de steenzetting is vrij eenvoudig en levert een schat aan informatie

Het openbreken van de steenzetting kan de volgende informatie opleveren:

- dikte van de toplaag.
- soortelijke massa van de zetstenen.
- diepte tot waar de steenzetting is ingegoten.
- korrelgrootte van het filter.
- dikte van de filterlaag.
- aanwezigheid van geotextiel of vlijlagen.
- eigenschappen van de eventuele granulaire onderlaag.
- dikte en kwaliteit van de kleilaag.
- korrelgrootte van het zand.

### 3.2.4

#### *Fase 4: laboratoriumonderzoek*

Laboratoriumonderzoek kan nodig zijn voor bijvoorbeeld het maken van een zeefkromme of het vaststellen van de kleikwaliteit. Als het bepalen van de soortelijke massa van de toplaag niet in het veld kan worden uitgevoerd, moet dit ook in het laboratorium plaatsvinden.

### 3.2.5

#### *Fase 5: gegevens voor toets op maat*

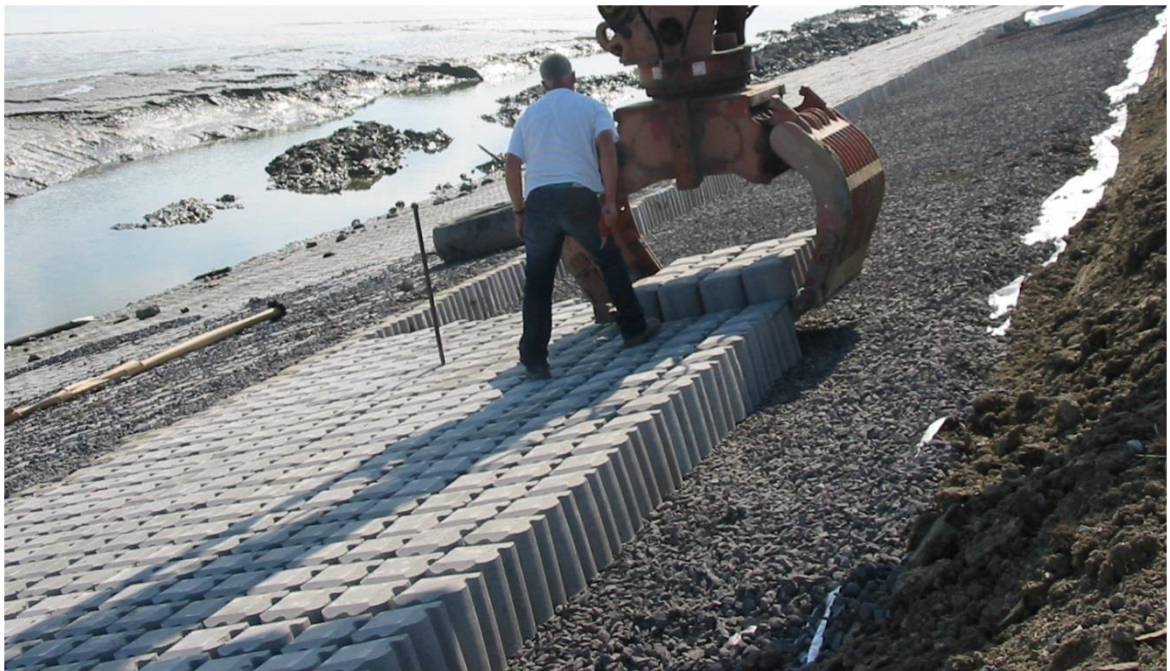
De gegevensbehoefte voor een *toets op maat* valt buiten het kader van deze rapportage.



## Vakindeling

De beoordeling van de bekledingen op een dijk betreft meestal meerdere typen bekledingen, zoals steenzettingen, asfalt en gras. In dit rapport wordt de aandacht uitsluitend gericht op de steenzettingen, maar dan nog zal in de beoordeling vaak een dijkgedeelte worden beschouwd dat verschillende typen steenzettingen, parameterwaarden en hydraulische belastingen kent. Als eerste wordt de dijk opgesplitst in dijkvakken. Dit is een gedeelte van de dijk waarin het dwarsprofiel nauwelijks verandert, de eigenschappen van de aanwezige steenzettingen constant zijn (volgens de schematisering) en bij benadering er constante hydraulische belastingen zijn over de lengte van het beschouwde dijkvak. De aanwezigheid en ligging van voorland en/of (haven)dammen voor de dijk, alsmede de oriëntatie van de dijknormaal kunnen daarbij van belang zijn. Daarnaast kunnen beheerdersgrenzen en trajectgrenzen ook reden zijn om een vak te begrenzen. Een dijkvak wordt begrensd door 2 denkbeeldige verticale vlakken haaks op de dijkas.

Deze paragraaf bevat (kwalitatieve) richtlijnen voor de schematisering van een dijkgedeelte tot dijkvakken.



Figuur 4.1 Aanleg steenzetting van Hydroblocks

Voor dit toetsspoor is de golfbelasting een relevant onderdeel van de hydraulische belasting. Dammen die aanwezig zijn voor de waterkering en/of voorlanden hebben een reducerende werking op deze golfbelasting. Het schematiseren van deze dammen en voorlanden is daarom (een eventueel noodzakelijk) onderdeel van het schematiseren van dit toetsspoor. In de Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen is informatie te vinden over het meenemen van voorliggende dammen en voorlanden in de schematisering van dit toetsspoor.

#### 4.1

##### **Stap 1: Dijkvakindeling op basis van eigenschappen van de dijk en bekledingen**

Een dijk is doorgaans bekleed met een aantal verschillende bekledingsegmenten. Een bekledingsegment is een oppervlak met een bepaalde dijkbekleding. Dit kan gaan om verschillende steenzettingsconstructies, maar ook om asfalt- of grasbekledingen. Deze schematiseringshandleiding gaat alleen in op de schematisering van de steenzettingen. Als er ook asfalt- of grasbekledingen in het dijkvak aanwezig zijn, dan moet wel het dijkprofiel hiermee worden aangevuld, zodat het gehele dijkprofiel in Steentoets is bekleed. Voor de beoordeling van de steenzettingen hoeven er echter geen details over de eigenschappen van het gras of asfalt ingevoerd te worden.

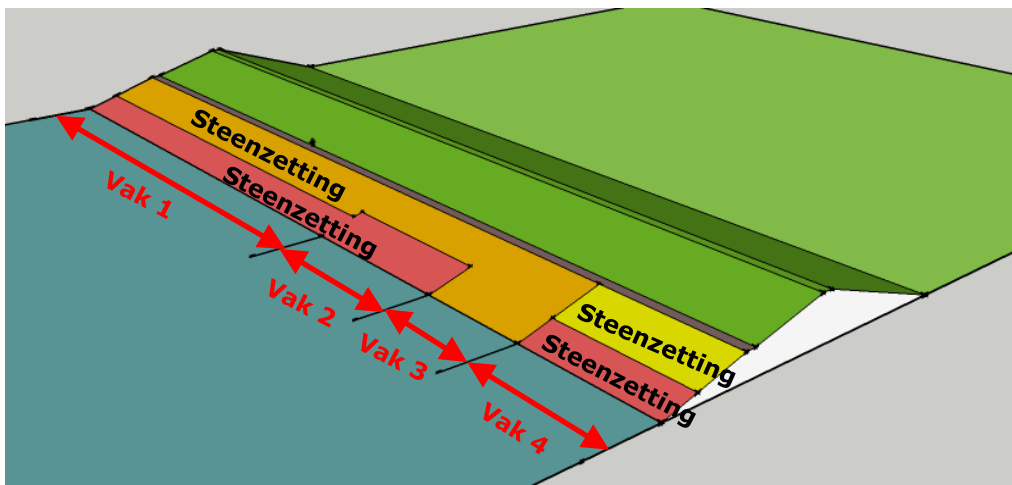
Met een steenzettingsconstructie wordt de hele constructie bedoeld op de zandkern (of kleikern) van de dijk, zie Figuur 2.1. Het kan bestaan uit de volgende onderdelen:

- toplaag van gezette steen.
- granulair filter (eventueel meerdere lagen).
- geotextiel of vlijlagen.
- kleilaag of buitenste deel van kleikern.

Eventueel kunnen een of meer lagen afwezig zijn. Samengestelde toplagen (zoals een overlaging van een steenzetting met breuksteen) vallen buiten het kader van dit rapport omdat deze niet met Steentoets beoordeeld kunnen worden. Deze kunnen met een *toets op maat* worden beoordeeld.

In een bekledingsegment zijn de eigenschappen van de steenzettingsconstructie constant. Bij het bepalen van de dijkvakken wordt gestart met het inventariseren van de bekledingsegmenten. Vervolgens worden de dijkvakgrenzen geplaatst op de dijk waar een of meer van de volgende aspecten veranderen:

- bekledingstype of eigenschappen (zoals toplaagdikte, filtereigenschappen, etc.): einde bekledingsegment.
- niveau van de onderste of bovenste overgangsconstructie van een segment.
- taludhelling en/of geometrie van de dijkdoorsnede.

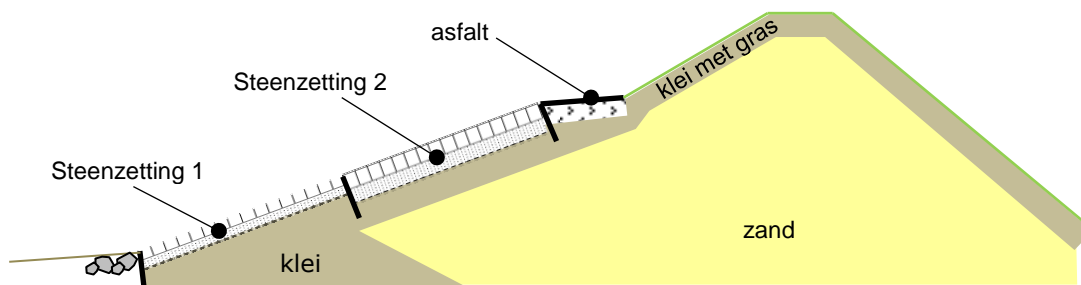


Figuur 4.2 Voorbeeld van vakindeling

In Figuur 4.2 is een voorbeeld gegeven van een vakindeling voor een dijk (met constante dijkgeometrie en constante hydraulische belastingen). Allereerst zijn de eigenschappen van de steenzettingen geïnventariseerd, en daaruit is voortgekomen dat er drie verschillende steenzettingconstructies onderscheiden moeten worden. Vervolgens kan aan de hand van de locatie van deze steenzettingen de vakindeling gemaakt worden. In dit voorbeeld is de overgang tussen steenzetting 1 en steenzetting 2 in vak 1 op een ander niveau dan in vak 2 en daarom moeten deze twee vakken onderscheiden worden (het niveau van de bovenste overgangsconstructie van steenzetting 1 verandert van vak 1 naar vak 2). In vak 3 is



steen-zetting 1 afwezig en heeft de steen-zetting 2 een andere ondergrens (niveau van de onderste overgangsconstructie). Vanaf vak 4 komt steen-zetting 3 in het profiel voor.



Figuur 4.3 Dwarsdoorsnede in vak 1, die representatief is voor het hele vak (in de dwarsdsn geldt: steen-zetting i = segment i)

Voor elk van deze vakken wordt een dwarsdoorsnede beschouwd, zie Figuur 4.3 voor vak 1. De locatie, het dwarsprofiel en de eigenschappen van de steen-zettingen kunnen in Steentoets worden ingevoerd waarna de stabiliteit van de twee steen-zettingen in het vak in één berekening wordt geëvalueerd. Per steen-zetting worden de resultaten weergegeven. De beoordeling van het asfalt op de berm en het gras op het boventalud, kruin en het binnentalud moet apart uitgevoerd worden, maar omdat het gehele profiel van belang kan zijn voor de berekening, dient de geometrie van deze taluddelen wel te worden beschreven. De schematisering en beoordeling van andere bekledingstypen dan steen-zettingen valt buiten het kader van dit rapport.

Als de eigenschappen van de steen-zetting of de taludhelling niet helemaal constant zijn, kan toch de hele steen-zetting gerekend worden tot één dijkvak. Men moet dan voor elke parameter de ongunstigste waarde gebruiken. Blijkt de bekleding dan niet te voldoen, dan loont het wellicht de moeite om kleinere dijkvakken te maken, zie Figuur 2.2.

Als niet direct duidelijk is of een hoge of een lage parameterwaarde ongunstig is, is het aan te bevelen om meerdere berekeningen met Steentoets te maken of toch het dijkvak op te splitsen in meerdere kleinere vakken.

Een ingevoerd dwarsprofiel moet representatief zijn voor het hele dijkvak ten aanzien van de betreffende steen-zettingen. Zolang aspecten zoals de eigenschappen van de steen-zetting, de taludhelling, het voorland, en de golfbelastingen bij benadering constant zijn langs het beschouwde dijkgedeelte, kan het dijkgedeelte geschematiseerd worden tot één dijkvak en kan dus volstaan worden met één dwarsprofiel. Zodra echter één van deze aspecten wel verandert, heeft men de volgende keuze:

- het vak opsplitsen in meerdere vakken.
- het desondanks als één dijkvak beschouwen, maar voor elke parameter de aantoonbaar meest ongunstige waarde aanhouden.

## 4.2

### Stap 2: Vakindeling eventueel aanpassen op basis van hydraulische belastingen

Als een voorlopige vakindeling op basis van de eigenschappen van de dijk en de bekledingen is gemaakt, moet er gekeken worden naar de hydraulische belastingen. Voor een lang vak worden in Ringtoets meerdere locaties met hydraulische belastingen voor de dijk gegeven. Per vak moet er één gekozen worden, namelijk de ongunstigste. Als er veel variatie zit in de golfcondities, dan kan het de moeite lonen om het vak te splitsen in meerdere vakken. Dit is aan te bevelen als de waarde van  $S$  uit formule 4.1 meer dan 10% verandert.

Als in de uitvoerpunten niet alleen de golfhoogten, maar ook de golfperiode en golfrichting verschillend zijn, kies dan het uitvoerpunt met de grootste waarde van  $S$ :

$$S = H_s T_{m-1,0} (\cos \beta)^{2/3} \quad (4.1)$$

Waarin:

S	Belastingparameter [ms].
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m].
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode [s].
$\beta$	Hoek van golfaanval ten opzichte van de dijknormaal, met $ \beta  \leq 90^\circ$ ( $\beta = 0^\circ$ als er loodrechte golfaanval is) [ $^\circ$ ].

Dit moet handmatig berekend worden, omdat Ringtoets hiervoor geen ondersteuning biedt. Als alternatief kan de Steentoetsberekening ook meerdere malen worden uitgevoerd met de hydraulisch belastingen van de verschillende uitvoerpunten, om vervolgens degene te kiezen met de slechtste score. Dat levert een nauwkeuriger resultaat dan het gebruik van bovenstaande formule.

#### 4.3

##### **Aanpassing kilometrering ten behoeve van Ringtoets**

Waterschappen zijn gewend om de locatie op een dijk weer te geven met behulp van de dijkpaalnummers. Deze dijkpaalnummers kunnen weergegeven zijn in hectometers of in kilometers vanaf een bepaald logisch gekozen nulpunt.

Voor het vastleggen van de beoordeling met Steentoets in Ringtoets moeten dijkpaalnummers omgerekend worden naar een kilometrering ten opzichte van het begin van het dijktraject. De dijktrajecten zijn benoemd in de Waterwet, zie Figuur 4.4 voor een voorbeeld.

Voor bijvoorbeeld dijktraject 6-3 (noordwest Friesland) moet het nulpunt gekozen worden bij de aansluiting op de Afsluitdijk. Omdat dit niet overeenkomt met de dijkpalen ter plaatse, is een omrekening nodig.

De kilometrering in de Excel spreadsheet van Steentoets moet doorgaans aangepast worden. De dijkpaalkilometrering moet vermenigvuldigd worden met -1 als deze de andere kant oploopt ten opzichte van de gewenste richting in Ringtoets. Het moet gedeeld worden door 10 als de locatie op de dijk met hectometers is weergegeven in de Steentoets-tabellen. Vervolgens moet er een vaste waarde opgeteld worden bij de kilometrering van de dijkpalen om het nulpunt op de juiste locatie te krijgen.

Het begin en eind van elk dijkvak afzonderlijk moet ingevoerd zijn in kolom E en F van Steentoets, zie Figuur 4.5.



Figuur 4.4 Enkele dijktrajecten uit de Waterwet



Steentoets2014\_v14.1.2.1-a [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4		STEENTOETS2014 versie 14.1.2.1, Deltares, augustus 2014					aanleg-	schade	havendam of	richt
5		Westerschelde	vlak-	dwars-	Subvakgrenzen		jaar	in	lage dijk?	norm
6			nummer	profiel	randvw. & vlak			jaar		op c
7	fout?	Naam van dijkvak			van	tot			ja/blanco	[gr to
8		Toetsvak 1 NW Friesland	1	12	0	1.8				
9		Toetsvak 1 NW Friesland	2	12	0	1.8				
10		Toetsvak 1 NW Friesland	5	12	0	1.8				
11		Toetsvak 1 NW Friesland	6	12	0	1.8				
12		Toetsvak 1 NW Friesland	7	12	0	1.8				
13		Toetsvak 2 NW Friesland	24	11	1.8	2.2				
14		Toetsvak 2 NW Friesland	23	11	1.8	2.2				
15		Toetsvak 2 NW Friesland	22	11	1.8	2.2				
16		Toetsvak 3 NW Friesland	1	3	2.2	3.4				
17		Toetsvak 3 NW Friesland	3	3	2.2	3.4				
18		Toetsvak 3 NW Friesland	5	3	2.2	3.4				
19		Toetsvak 3 NW Friesland	7	3	2.2	3.4				
20		Toetsvak 3 NW Friesland	2	3	2.2	3.4				

Figuur 4.5 De grenzen van het dijkvak moeten worden ingevoerd in kolom E en F, in kilometers ten opzichte van het begin van het dijktraject.

Nadat dit in de Excel spreadsheet van Steentoets is aangepast, kan de beoordeling van de steenzettingen worden uitgevoerd en kunnen de resultaten ingevoerd worden in Ringtoets.



## 5 Hydraulische belastingen

Voor de *gedetailleerde toets* spelen verschillende parameters een rol die onder de noemer hydraulische belastingen vallen.

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de hydraulische gegevens die voor de *gedetailleerde toets* nodig zijn.

**Tabel 5.1 Hydraulische parameters van belang voor de gedetailleerde toets**

Parameter	symbool	paragraaf
Type watersysteem	-	5.1
Waterstand bij de norm	-	5.2
Waterstandsverloop	-	5.3
Volumieke massa water	$\rho_w$	5.4
Gemiddeld laagwater	GLW	5.5
Gemiddeld hoogwater	GHW	5.5

In de volgende paragrafen wordt dieper op deze hydraulische parameters ingegaan.

### 5.1 Type watersysteem

Het *type watersysteem* is van belang omdat dit bepaalt welk waterstandsverloop er binnen Steentoets wordt gehanteerd. Hiervoor worden de standaard waterstandsverlopen gehanteerd die sinds het verschijnen van de Leidraad toetsen op veiligheid worden gehanteerd. De keuze voor het *type watersysteem* zoals dat aan Steentoets wordt opgegeven volgt uit Tabel 5.2. Bij elk *type watersysteem* hoort een standaard waterstandsverloop, dat door de software locatiespecifiek wordt gemaakt op basis van de ook op te geven waarden voor *waterstand bij de norm*, *gemiddeld laagwater* en *gemiddeld hoogwater*.

**Tabel 5.2 Relatie tussen de relevante watersystemen genoemd in WBI 2017 Bijlage II Hydraulische belastingen en zoals gekarakteriseerd in Steentoets**

Watersysteem	Keuze in Steentoets
Westerschelde (15)	Westerschelde
Oosterschelde (14)	Oosterschelde
IJsselmeer (7)	IJsselmeer
Markermeer (8)	Markermeer
Veluwerandmeer (19), Grevelingen (20), Volkerak Zoommeer (21)	Randmeren
Hollandse Kust Noord (11), Midden (12) en Zuid (13)	Noordzee
Waddenzee Oost (9), Waddenzee West (10)	Waddenzee
Europoort (17)	Benedenrivieren dg 1-2
Benedenrivierengebied (3+4), Hollandse IJssel (22)	Benedenrivieren dg 3-5
Bovenrivierengebied (1+2), Limburgse Maas (18)	Bovenrivieren
IJsseldelta (5) en Vechtdelta (6)	Anders

### 5.2 Waterstand bij de norm

De parameter *waterstand bij de norm* (in Steentoets aangeduid als 'Toetspeil + toeslagen') [m+NAP] wordt bij de beoordeling van steenzettingen door Steentoets gebruikt als hoogste punt van het waterstandsverloop, zie paragraaf 5.3. Voor de meeste watersystemen beïnvloedt de parameter in beperkte mate de belastingsduur. Verder wordt de hoogste waterstand waarmee Steentoets de steenstabiliteit bepaald erop gebaseerd.

De rekenwaarde voor de *waterstand bij de norm* wordt specifiek voor het toetsspoor *stabiliteit steenzetting* berekend met de 'belastingenmodule voor bekledingen' van Ringtoets.

### 5.3 Waterstandsverloop

Het waterstandsverloop dat voor de *gedetailleerde toets* voor het toetsspoor *Stabiliteit steenzetting* wordt gebruikt is het waterstandverloop dat voor de verschillende *typen watersysteem* in Steentoets is opgenomen.

Dit waterstandsverloop bestaat, afhankelijk van het *type watersysteem*, uit een combinatie van de volgende drie onderdelen:

1. De gemiddelde buitenwaterstand [m+NAP].
2. Het verloop van de stormopzet.

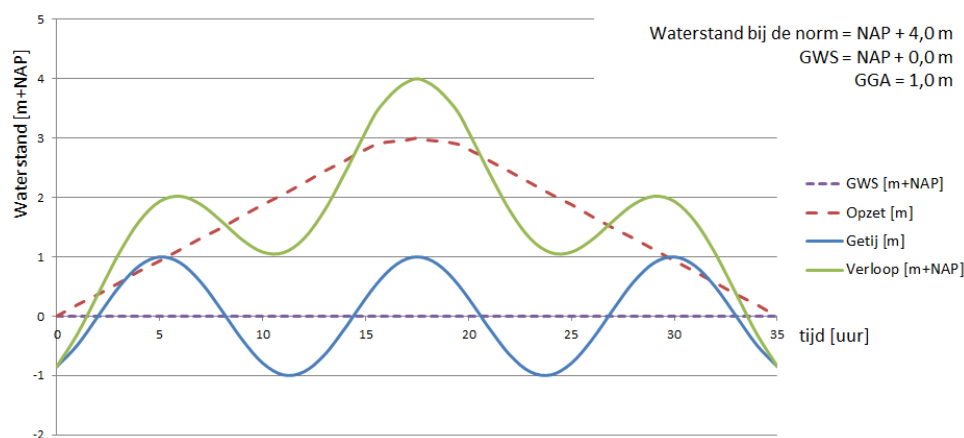
### 3. Het getijverloop.

De *gemiddelde buitenwaterstand* vormt de basis van het waterstandsverloop waarop het opzetverloop en het getijverloop worden gesuperponeerd. De gemiddelde buitenwaterstand is NAP voor kustlocaties en voor de overige watersystemen gelijk aan *gemiddeld laagwater*, zie paragraaf 5.5.

Voor de *typen watersysteem* 'Westerschelde', 'Oosterschelde', 'IJsselmeer', 'Markermeer', 'Randmeren', 'Noordzee', 'Waddenzee' en 'Anders', zie Tabel 5.2, wordt een standaard opzetverloop gehanteerd dat bestaat uit 4 lineaire op elkaar aansluitende takken, zie ook voorbeeld in Figuur 5.1:

- Van 0 aan het begin van de storm tot de maximale opzet -0,1 m op 1 uur voor het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet -0,1 m op 1 uur voor het tijdstip halverwege de storm tot de maximale opzet op het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet op het tijdstip halverwege de storm tot de maximale opzet -0,1 m op 1 uur ná het tijdstip halverwege de storm.
- Van de maximale opzet -0,1 m op 1 uur ná het tijdstip halverwege de storm tot 0 aan het eind van de storm.

De stormduur [uur] die hoort bij het opzetverloop, is 35 uur voor al deze *typen watersysteem*, met uitzondering van het *type watersysteem* 'Waddenzee' waarvoor de stormduur 45 uur bedraagt en het *type watersysteem* 'Anders' waarvoor de stormduur vrij is te kiezen.



Figuur 5.1 Voorbeeld van de opbouw van het waterstandsverloop uit de componenten gemiddelde buitenwaterstand (GWS), opzetverloop en gemiddeld getij voor een *type watersysteem* 'kust'.

Voor het *type watersysteem* 'Oosterschelde' wordt niet met een waterstandsverloop gerekend waaruit de belastingsduur wordt bepaald, maar wordt voor bepaalde waterstandsintervallen gerekend met een vaste belastingsduur:

- *Waterstand bij de norm*  $\geq h >$  *waterstand bij de norm* -1,0 m: belastingsduur= 5 uur.
- *Waterstand bij de norm* -1 m  $\geq h \geq$  *waterstand bij de norm* -2,0 m: belastingsduur= 25 uur.
- *Waterstand bij de norm* -2 m  $> h >$  *waterstand bij de norm* -3,0 m: belastingsduur= 20 uur.

Waarin h het niveau van de stilwaterlijn is.

Voor de watersystemen waar er sprake is van getij, wordt het getijverloop beschreven met een getijamplitude [m] die gelijk is aan de helft van (*gemiddeld hoogwater* – *gemiddeld laagwater*). Verder geldt dat hoogwater van het getij samenvalt met het tijdstip halverwege de storm en wel zodanig dat de maximale opzet + de getijamplitude overeenkomt met de *waterstand bij de norm*.

Het *type watersysteem* 'anders' biedt de mogelijkheid zelf de stormduur te beïnvloeden. Voor de andere watersystemen is het bijbehorende waterstandsverloop geïmplementeerd in de WBI software.

#### 5.4

##### Volumieke massa water

De *volumieke massa water* ( $\rho_w$ , [kg/m<sup>3</sup>]) is van belang voor de beoordeling van de stabiliteit van een steenzetting. Er zijn twee defaultwaarden: 1025 kg/m<sup>3</sup> voor zeewater en 1000 kg/m<sup>3</sup> voor zoetwater. Welke van de twee defaultwaarden er moet worden gekozen is afhankelijk van de *Ligging waterkering* (K01) en het daaraan gekoppelde *type watersysteem*. Tabel 5.3 geeft de verdeling.

**Tabel 5.3 Defaultwaarden voor de factor voor de volumieke massa van water. \* Zie figuur 2-2 uit WBI 2017**  
**Bijlage II Hydraulische belastingen**

Watersysteem*	defaultwaarde $\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]
IJsselmeer (7), Markermeer (8), Veluwerandmeer (19), IJsseldelta (5) en Vechtdelta (6) Limburgse Maas (18), Bovenrivieren (1+2), Benedenrivieren (3+4), Volkerak Zoommeer (21)	1000
Waddenzee Oost (9), Waddenzee West (10), Hollandse Kust Noord (11), Midden (12) en Zuid (13) Oosterschelde (14), Westerschelde (15), Europoort (17), Grevelingen (20)	1025

#### 5.5

##### Buitenwaterstand

De buitenwaterstand onder dagelijkse omstandigheden wordt voor de beoordeling van steenzettingen beschreven door twee invoerparameters van Steentoets: *gemiddeld laagwater* (GLW, [m+NAP]) en *gemiddeld hoogwater* (GHW, [m+NAP]).

De representatieve waarden voor deze parameters kunnen voor de locaties met zoutwater worden gebaseerd op het langjarig gemiddelde [5]. Voor situaties zonder getij worden *gemiddeld hoogwater* en *gemiddeld laagwater* aan elkaar gelijk. Voor meren kan als representatieve waarde gebruik worden gemaakt van het winterstreefpeil. Voor de rivieren kan worden uitgegaan van de waterstand bij de gemiddelde afvoer gebaseerd op het langjarig gemiddelde [5]. Als verandering in het peilbeheer op het buitenwater daar aanleiding toe geeft moeten de waarden voor de buitenwaterstand daar natuurlijk op worden aangepast. Bij de keuze van de waarde voor deze parameter is het goed om te weten wat de consequenties zijn van deze keuze. De buitenwaterstand onder dagelijkse omstandigheden speelt de volgende rollen in de beoordeling:

- Enerzijds bepaalt *gemiddeld laagwater* de laagste waterstand waarvoor de bekleding nog wordt beoordeeld. Die laagste waterstand kan eigenlijk nooit een veiligheidsrisico opleveren, omdat rond dat niveau dusdanig vaak belastingen optreden dat er al eerder schade had moeten optreden, hetgeen dus tot maatregelen had moeten leiden.
- Anderzijds bepaalt het niveauverschil tussen de *waterstand bij de norm* en de *gemiddeld laagwater* hoe lang de stormbelasting op een bepaald niveau van het talud inwerkt. Bij een groot niveauverschil, wordt de totale belasting gedurende de storm over een langer deel van het dijktaalud gespreid. Een relatief hoog gekozen waarde voor de *gemiddeld laagwater* leidt daarom op elk niveau op het talud tot een iets langere belastingduur.

Omdat de sterkte van steenzettingen niet al te zeer afhankelijk is van de belastingsduur, beïnvloedt de waarde van de waterstanden onder dagelijkse omstandigheden het berekeningsresultaat slechts in zeer geringe mate.

#### 5.6

##### Golfbelastingen

De golfbelastingen die voor de *gedetailleerde toets* van belang zijn worden voor steenzettingen gekarakteriseerd door de golfhoogte ( $H_{m0}$  [m]), de golfperiode ( $T_{m-1,0}$  [s]) en de golfrichting ( $\beta$  [°]). Deze gegevens worden binnen Ringtoets bepaald door de hydraulische belastingenmodule voor bekledingen (Q-variant) te laten aanroepen specifiek voor het toetsspoor *Stabiliteit steenzetting*.

Hoe de golfparameters per dijkvak te bepalen als er per dijkvak meerdere randvoorwaardepunten beschikbaar zijn, is toegelicht in paragraaf 4.2.

5.7

### **Stroomsnelheid**

Alleen voor rivieren kan een beoordeling van een zetting op stroming langs de dijk relevant zijn. In die uitzonderlijke gevallen moet de stroomsnelheid [m/s] worden opgegeven. Dit valt echter onder de *toets op maat*.

## 6 Parameters

Voor de beoordeling wordt gebruikgemaakt van de gemiddelde waarden van de constructie beschrijvende parameters, tenzij anders vermeld.

### 6.1 Essentiële parameters

De beoordeling van een steenzetting gebeurt in Steentoets aan de hand van een aantal parameters die de eigenschappen van de belasting en de steenzetting beschrijven. Sommige van deze parameters zijn essentieel om de beoordeling te kunnen uitvoeren. Maar er zijn ook parameters waarvoor aanvankelijk gerekend kan worden met default waarden, maar waarbij de nauwkeurigheid van het beoordelingsresultaat beter wordt als ook voor die parameters de werkelijke waarden worden ingevoerd (zie Figuur 2.2).

De essentiële parameters zijn:

1. hydraulische belasting (kan met Ringtoets berekend worden aan de hand van de locatie van de dijk) ( $H_{m0}$ ,  $\beta$  en  $T_p$  of  $T_{m-1,0}$ ).
2. geometrie van het dwarsprofiel (ten minste tot de bovenzijde van de steenzetting en ten minste tot boven het niveau van de waterstand bij de norm) en de oriëntatie van de dijk (zie paragraaf 6.3).
3. niveau van het taludoppervlak aan de onderzijde ( $Z_o$ ) en bovenzijde ( $Z_b$ ) van de steenzetting (niveau onderste en bovenste overgangsconstructie) (zie paragraaf 6.5)
4. toplaagdikte ( $D$ ) (zie paragraaf 6.8).
5. type steenzetting (zie paragraaf 6.6).
6. spleetbreedte ( $s$ ) of open oppervlak ( $\Omega$ ) tussen de zetstenen (zie paragraaf 6.10 en 6.11). Als de spleetbreedte is opgegeven, is de lengte ( $L$ ) en breedte ( $B$ ) van de zetstenen ook essentieel (zie paragraaf 6.9).
7. of de toplaag al dan niet is ingewassen met steenslag (paragraaf 6.15) of is ingegoten met beton of asfaltmastiek (paragraaf 6.18).
8. de dikte van de eventueel aanwezige uitvullagen en granulaire filterlagen ( $b$ ) (zie paragraaf 6.20).
9. de korrelgrootte ( $d_{f15}$  = grootte van de korrels die door 15% op basis van gewicht wordt onderschreden) van de uitvullagen en granulaire filterlagen (zie paragraaf 6.20).
10. de aanwezigheid van eventueel toegepaste geotextielen (zie paragraaf 6.19 en 6.21).
11. dikte van de eventueel aanwezige kleilaag ( $b_{klei}$ ) (zie paragraaf 6.22).

Een overzicht van alle essentiële en niet essentiële parameters (met default waarden) is gegeven in bijlage B en wordt nader omschreven in onderstaande paragrafen.

### 6.2 Havendam of lage dijk

De meeste steenzettingen die beoordeeld worden liggen op de buitenzijde van een dijk. Het kan echter gewenst zijn om ook de invloed van de voor de dijk liggende constructies en/of terreinen mee te nemen. In dat geval moeten ze stabiel zijn onder extreme condities en zullen de daarop aanwezige steenzettingen en andere bekledingen ook beoordeeld moeten worden. In Steentoets moet worden aangegeven wat voor soort constructie het is:

- een havendam (constructie met aan beide zijden water).
- een lage dijk (bijvoorbeeld voor een inlaag) of overslagbestendige dijk, waarvan de kruin lager is dan  $H_{m0}/2$  boven de waterstand bij de norm.
- een normale dijk

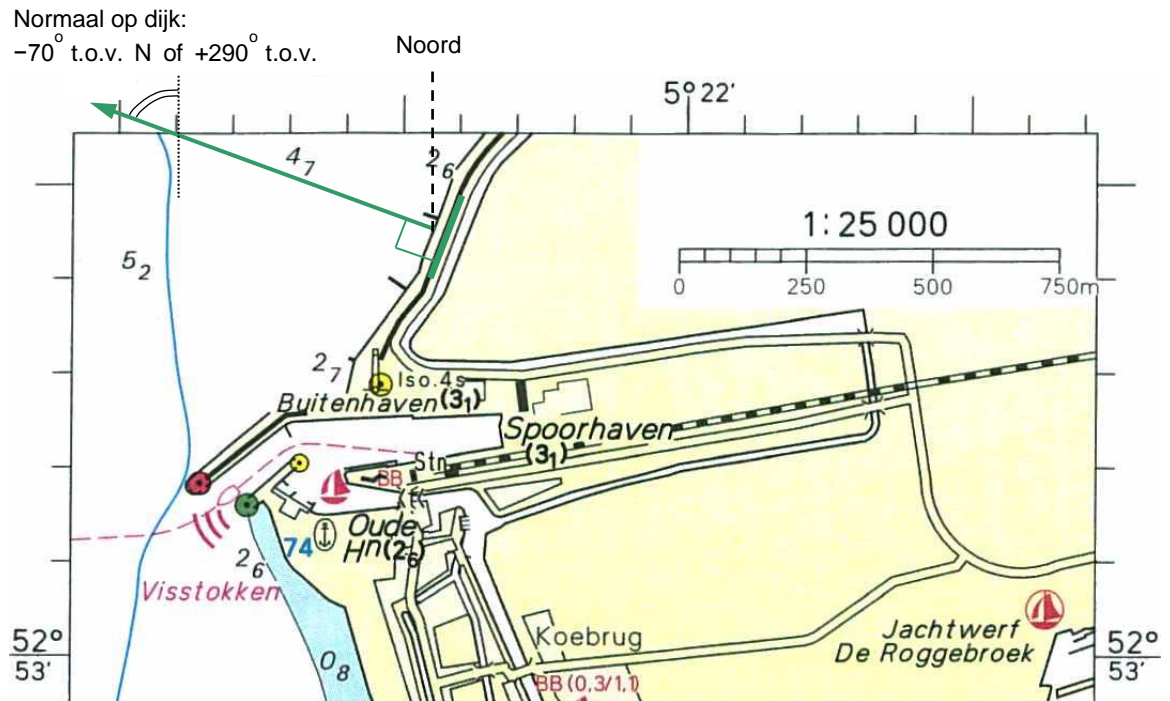
Er is sprake van een normale dijk als die zo hoog is dat minder dan 20 l/s/m golfoverslag plaatsvindt.

Als ook de achterzijde van de havendam direct kan worden aangevallen door golven, moet ook dat in de beoordeling beschouwd worden en geldt de slechtste score van de belasting bij overslag en de directe golfbelasting.

### 6.3

#### Richting normaal op dijk

De dijknormaal is de denkbeeldige lijn loodrecht op de dijk of havendam, richting het buitenwater. De richting van de dijknormaal in graden ten opzichte van Noord ( $^{\circ}$  t.o.v. N) kan eenvoudig worden bepaald met behulp van geodriehoek en topografische kaart, zie Figuur 6.1.



Figuur 6.1 Voorbeeld van de richting van de dijknormaal ten opzichte van Noord.

In sommige dijkvakken komt het voor dat de dijknormaal varieert. Dat is bijvoorbeeld het geval wanneer de grenzen van een dijkvak halverwege een bocht zijn gekozen. Ook varieert de richting van de dijknormaal wanneer het dijkvak onderdeel uitmaakt van een grote flauwe bocht in de dijk of wanneer zich in de dijk een kleine 'knik' bevindt. In dergelijke gevallen moet men in Steentoets de richting van de dijknormaal invullen, die de kleinste hoek oplevert ten opzichte van de golfrichting. Immers, hoe loodrechter golven invallen, des te groter is de golfbelasting. Als een dijkvak niet voldoet op basis van de ongunstigste normaal, kan men ervoor kiezen het dijkvak op te splitsen, om dijkgedeeltes te isoleren die eventueel wél voldoen.

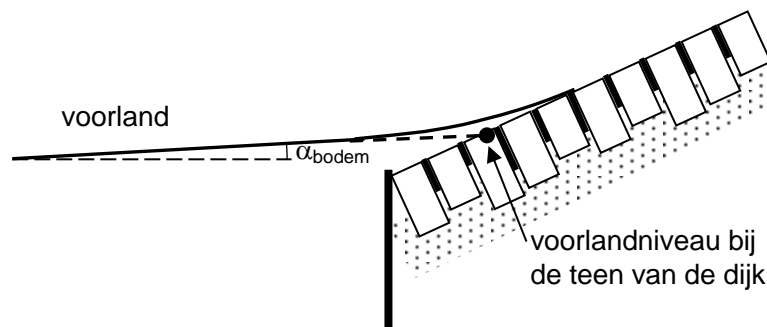
Ook de golfrichting wordt in Ringtoets berekend. Deze kan afhankelijk zijn van de waterstand.

### 6.4

#### Voorland: niveau bij de teen $z_{\text{voorland}}$ en helling $\tan \alpha_{\text{bodan}}$

Voor het bepalen van het voorlandniveau (wad, schor, kwelder, uiterwaarde, etc.) bij de teen ( $z_{\text{voorland}} [M+NAP]$ ) wordt de gemiddelde lijn door het voorland doorgetrokken tot het talud (of de verlenging van het talud). Het snijpunt bepaalt het niveau van de teen. Dit is bijvoorbeeld relevant als het voorland steeds steiler oploopt naar de dijk (zie Figuur 6.2). Als het onderste segment (steenzetting) lager begint dan het voorlandniveau bij de teen, wordt desondanks het gehele segment van een oordeel voorzien. Het niveau van de onderzijde van het segment ligt dan lager dan de teen.





Figuur 6.2 Niveau van het voorland bij de teen van de dijk, indien het voorland steeds steiler oploopt naar de dijk.

Voor de helling van het voorland ( $\tan \alpha_{\text{bodem}}$  (verticale afstand : horizontale afstand) [-]) gaat het om het gemiddelde van de eerste orde 30 à 50 meter vanaf de teen van de dijk. Wanneer het voorland steeds steiler oploopt naar de dijk (zoals in Figuur 6.2), moet men uitgaan van de doorgetrokken gemiddelde lijn door het voorland.

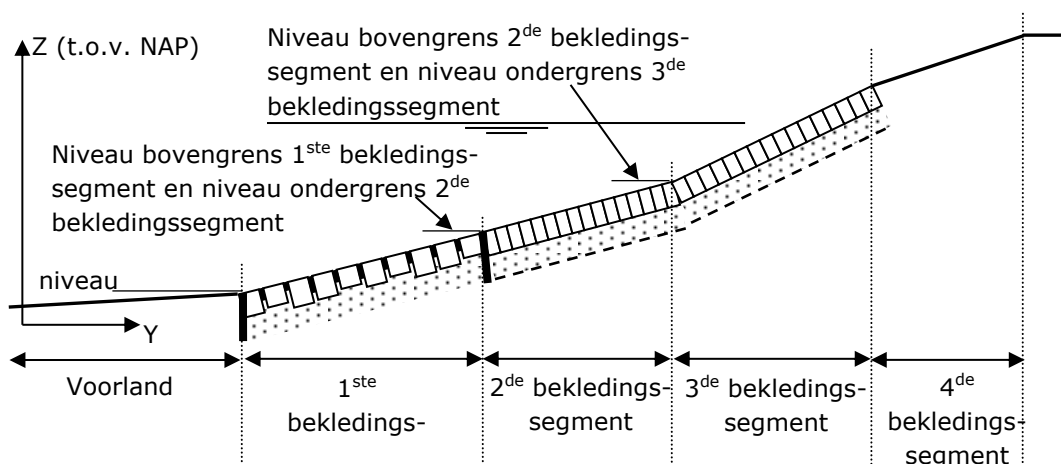
De beoordeling heeft betrekking op de periode tot aan de peildatum. Bij het bepalen van het voorlandniveau en de voorlandhelling moet rekening worden gehouden met de ontwikkeling van het voorland in die periode. Aangezien het voorland vaak buiten het beheersgebied van de dijkbeheerder ligt, is het verstandig in de beoordeling te rekenen met een conservatieve schatting van het voorlandniveau (zie ook het toetspoot *zettingsvloeiing voorland*). De ligging van het voorland is meestal bekend bij de betreffende beheerder en is vastgelegd in oeverkaarten. Als dat niet zo is, kan de actuele ligging worden ingemeten. Voor de inschatting van een conservatieve waarde voor de toekomstige ontwikkeling kan gebruik worden gemaakt van ervaringsgegevens. Wanneer de score van de bekleding twijfelachtig blijkt te zijn als gevolg van het ingevoerde voorland, kan eventueel aanvullend een morfologische studie worden uitgevoerd.

Het wordt aanbevolen de geometrie ten minste elke 100 à 200 m in te meten als er veel variatie is en minder gedetailleerd als het voorland vrij constant is langs de dijk. Deze informatie kan bijvoorbeeld uit het AHN gehaald worden.

## 6.5

### Niveau ondergrens en bovengrens van het bekledingssegment

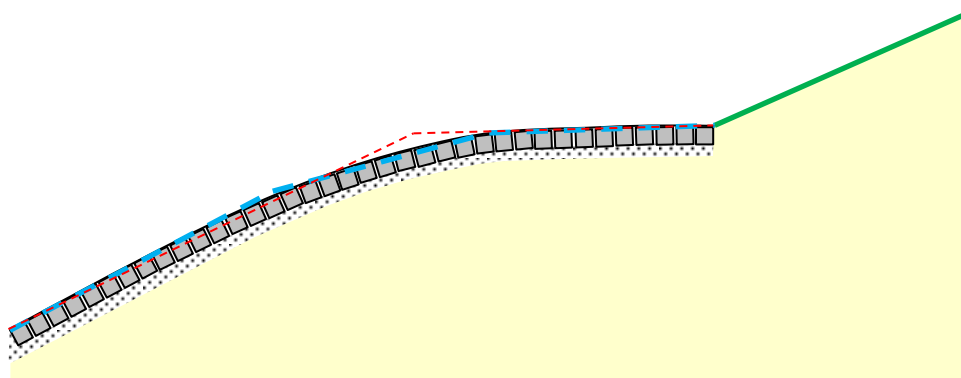
Het niveau van de onder- en bovenrand (onderste en bovenste overgangsconstructie) van het bekledingssegment ( $Z_o, Z_b$  [m+NAP]) heeft betrekking op het niveau op het taludoppervlak (zie Figuur 6.3) en is ten opzichte van NAP.



Figuur 6.3 Verdeling van dwarsprofiel in bekledingssegmenten.

Bij twee opeenvolgende segmenten die op elkaar aansluiten moet het niveau van de bovengrens van de onderste gelijk zijn aan die van de ondergrens van de bovenste. Als binnen een vak een overgangsconstructie tussen twee opeenvolgende segmenten sterk in hoogteligging verloopt, dan dienen voor dat vak twee doorsneden te worden gecontroleerd: de eerste met de overgangsconstructie op de laagste positie en de tweede met de overgangsconstructie op de hoogste positie.

In de meeste gevallen zal de geometrie ten behoeve van de beoordeling worden ingemeten en vastgelegd in dwarsprofielen of een Digitaal Terreinmodel (DTM). Als in het archief al recente inmetingen beschikbaar zijn, kunnen deze worden gebruikt voor de beoordeling. De acceptabele ouderdom van de gegevens hangt af van de zettingen in het gebied, maar in het algemeen mogen de gegevens niet ouder zijn dan enkele jaren. Voor de geometrie zijn ontwerpwaarden niet bruikbaar voor de beoordeling. Het wordt aanbevolen de geometrie ten minste elke 100 à 200 m in te meten.



Figuur 6.4 Schematisering van een talud met tonrondte en afgeronde voorrand van de berm

Als er sprake is van een tonrondte in het talud of een afronding van de voorrand van een berm, dan zijn er meerdere mogelijkheden om het talud te schematiseren. Het gekromde talud kan grof geschematiseerd worden met twee rechte lijnen, zoals de rode lijn in Figuur 6.4, of gedetailleerder met meerdere lijnen, zoals de blauwe lijn. Men is vrij om hiervoor een verstandige keuze te maken. De breedte van de segmenten in het dwarsprofiel moeten niet te klein gekozen worden: niet kleiner dan circa 0,5 à 1 m, gemeten langs het talud. Het komt ook voor dat het talud aan de onderzijde hol is (steeds flauwer talud richting teen). Ook in dat geval kan op vergelijkbare wijze met een paar rechte lijnen het talud geschematiseerd worden.

## 6.6

### Type toplaag

Het type toplaag wordt in Steentoets aangeduid met een code (een getal). Een overzicht van de typen toplagen en bijbehorende Steentoets-codes is gegeven in Bijlage A van deze schematiseringshandleiding.

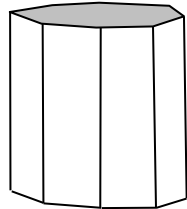
Als de steenzetting is ingegoten met asfaltmastiek, dan wordt de tweede decimaal van het typenummer een 1, en als het is ingegoten met beton, dan wordt de tweede decimaal een 2. Bijvoorbeeld:

- Met asfaltmastiek ingegoten basalt: 26.01
- Met beton ingegoten Vilvoordse Steen: 28.12

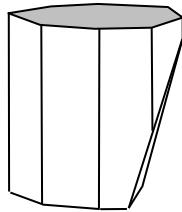
Als er sprake is van hergebruikte betonzuilen, dan dient men 27.09 als type toplaag in te voeren. Hergebruikte betonzuilen kunnen een lagere stabiliteit hebben dan nieuwe betonzuilen.

Bij basalt heeft men de keuze uit 26.0 en 26.1. In het eerste geval gaat het om normale basalt die nog niet eerder zwaar belast is geweest door golven. Bij basalt van het type 26.1 is dat wel het geval en is na deze zware belasting de hier en daar opgetreden schade goed hersteld. Ook als bij de bouw ervoor gezorgd is dat alleen goede zuilen zijn toegepast, mag worden

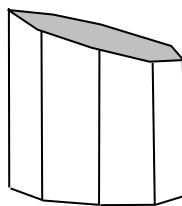
uitgegaan van type 26.1. Voorbeelden van een goede, natuurlijke zuilvorm en een drietal slechte zuilen zijn gegeven in Figuur 6.5.



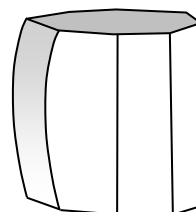
Natuurlijke zuilvorm



Scherf van



Scherf van kop



Bolle zijkant

Figuur 6.5 Natuurlijke zuilvorm en zuilen waar een scherf aan ontbreekt (tapse zuil) of met bolle zijkant.

Afbeeldingen van de meest voorkomende toplaagtypen zijn weergegeven in de volgende foto's.



Haringmanblokken (11.1)



Blokken op hun kant (11.4)



Basalton (27.1)



Hydroblock (27.3)

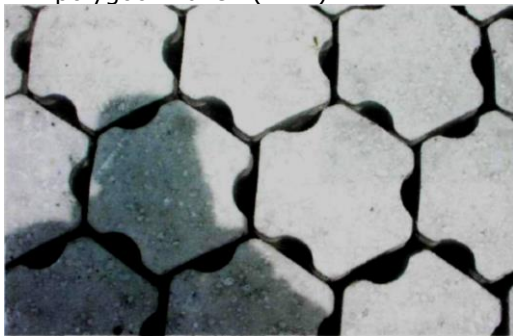




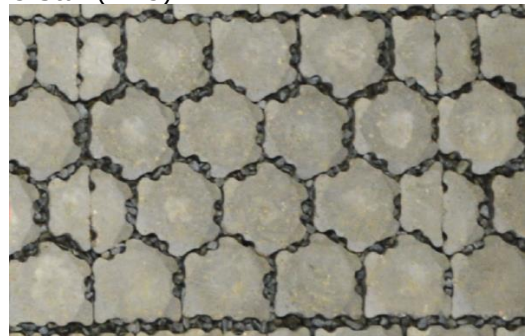
PIT-polygoon zuilen (27.2)



C-Star (27.5)



RONA®ton (27.4)



RONA®ton in pakketvorm (27.4)



Hillblock (27.6)



Hillblock (zijaanzicht) (27.6)



Basalt (26)



Granietblokken (28.5)





Petit graniet (28.4)



Doornikse steen (28.3)



Vilvoordse steen (28.1)



Lessinische steen (28.2)



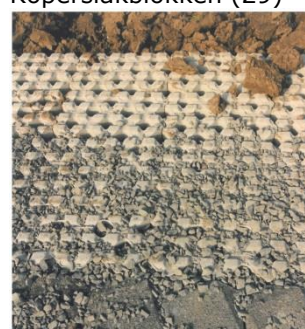
Noorse steen (28.6)



Koperslakblokken (29)



Verkalit (11.6)



Doorgroeistenen (17)



Blokkenmat (12)



Ingegote steenzetting (26.01)

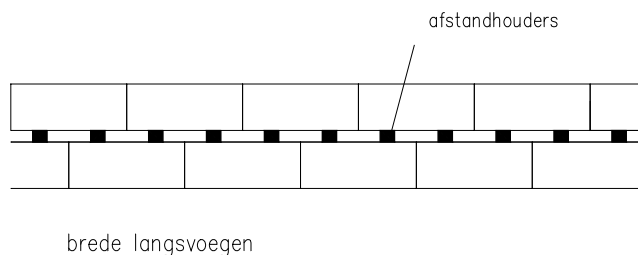


"Vol en zat" gepenetreerde  
breuksteenoverlaging (7)



Overlaging met losse breuksteen (25)

Omdat een kleine open ruimte ongunstig is voor de stabiliteit van de toplaag, zijn bij betonblokken soms afstandhouders toegepast (zie Figuur 6.6). De kwaliteit van de afstandhouders moet gecontroleerd worden in het kader van de zorgplicht.



Figuur 6.6 Afstandhouders bij betonblokken (bovenaanzicht).

## 6.7

### Type onderlagen

Het type onderlaag wordt in Steentoets aangeduid met een unieke tweeletterige code (bijvoorbeeld pu voor puin). Een overzicht van de typen onderlagen bij steenzettingen en de daarvoor gebruikte codes is gegeven in Tabel 6.1. Het is belangrijk dat de codes worden ingevoerd in kleine letters.

Als er meerdere onderlagen zijn, moeten de codes voor deze onderlagen achter elkaar worden gezet met een spatie ertussen, te beginnen met de bovenste laag (bijvoorbeeld 'st ge kl' voor een toplaag op steenslag op geotextiel op klei).

Voor vlijlagen geldt dat er minstens twee lagen aanwezig moeten zijn en dat deze in goede staat moeten verkeren, anders moet niet aangegeven worden dat er vlijlagen aanwezig zijn. Ook klei telt mee als onderlaag, maar zand niet. Bijvoorbeeld: 'pu vl kl' = toplaag op puin op vlijlagen op klei. En: 'st my ge kl' = toplaag op steenslag op mijnsteen op geotextiel op klei.

**Tabel 6.1 Overzicht van de typen onderlagen en bijbehorende codes.**

Code	Omschrijving
st	steenslag
my	mijnsteen (breed gegradeerd)
ge	geotextiel
gr	grind
vl	vlijlaag (mits het minstens 2 lagen zijn en in goede staat)
sl	slak
pu	puin
kl	klei
as	zandasfalt

Voor de kwantificering van de eigenschappen van de onderlagen wordt verwezen naar paragraaf 6.19 (eventueel geotextiel onder de toplaag), 6.20 (eigenschappen van het granulair filter), 6.21 (eigenschappen van het geotextiel onder het filter), 6.22 (dijkopbouw en kleilaagdikte), 6.24 (kwaliteit klei) en 6.25 (korrelgrootte van het zand).

Het type onderlagen en de eigenschappen ervan (zie paragraaf 6.20) heeft invloed op alle faalmechanismen, ook op 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG'.

## 6.8

### Toplaagdikte D

Voor de beoordeling kan voor de toplaagdikte (D [m]) volstaan worden met meetgegevens uit het archief, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat zetstenen niet of nauwelijks slijten. Voor fabrieksmatig geproduceerde zetstenen (betonzuilen of -blokken) kan gebruikgemaakt worden van revisiegegevens of eventueel contractgegevens.

De toplaagdikte hoeft niet tot op de mm bekend te zijn, een nauwkeurigheid van 1 cm is voldoende.

Als in het archief geen of onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, moet de toplaagdikte op de dijk zelf gemeten worden door de bekleding open te breken (zie Figuur 3.1). Hiertoe worden op een voldoende aantal locaties een zetsteen uit de toplaag verwijderd zodat van 5 à 10 zetstenen (rondom de verwijderde zetsteen) de dikte kan worden gemeten. Bij een goed geklemde steenzetting of steenzetting met interlocking geldt dat de gemiddelde waarde van de te meten zetstenen geldt als de maatgevende waarde voor de betreffende breeklocatie. Bij een slecht geklemde steenzetting geldt de kleinste waarde.

Van alle breeklocaties is de kleinste maatgevend voor de beoordeling van het betreffende dijkvak.

De meetlocaties moeten zodanig worden gekozen dat er een goed beeld ontstaat van de spreiding van de dikte. De meetdichtheid wordt bepaald door een inschatting van de variatie binnen een segment:

- Betonnen steenzetting en koperslakblokken.  
Voor een homogeen ogende zetting van fabrieksmatig geproduceerde betonnen zetstenen is 2 meetpunten voldoende (één aan het begin en één het eind van het dijkvak), tenzij het vak groter is dan 1000 m. Dan moeten de meetpunten een onderlinge afstand hebben van maximaal 1000 m.
- Steenzettingen van natuursteen.  
Voor natuursteen geldt dat er een grote variatie in toplaagdikte in een dijkvak kan voorkomen. Daarom moet de bekleding op meer plaatsen opengebroken worden om de dikte te meten:
  - Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:  
op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op circa 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
  - Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:  
op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.
  - Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:



op 1 niveau op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op 1 m van de onderste overgangsconstructie, langs het talud gemeten.

Op basis van de uitkomsten van de metingen kan het nodig zijn om een segment op te splitsen in meerdere segmenten (zie Figuur 2.2).

Bij het bepalen van toplaagdikte  $D$  wordt onderscheid gemaakt tussen betonnen zetstenen en natuursteen. Van beide typen wordt de definitie onderstaand beschreven.

#### Definitie toplaagdikte bij betonnen zetstenen

De toplaagdikte van een steenzetting van betonnen zetsteen is gelijk aan de hoogte van de stenen, waarbij de eventueel aanwezige deklaag met een geringere sterkte dan de rest van de zetsteen niet meetelt (zoals een eco-toplaag). Bovendien worden eventueel aanwezige ruwheidselementen niet meegeteld (zie Figuur 6.7). Ruwheidselementen zijn uitsteeksels op de zetsteen met een oppervlak dat kleiner is dan de helft van het bovenvlak van de zetsteen, waarbij het oppervlak ter plaatse van de aansluiting op de zetsteen maatgevend is.



Figuur 6.7 Voorbeelden van ruwheidselementen op betonblokken

#### Definitie bij natuursteen

Bij steenzettingen van natuursteen wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds steenzettingen van Noorse steen, Vilvoordse steen of Lessinische steen, en anderzijds steenzettingen van de overige soorten natuursteen, zoals basalt, Doornikse steen en graniet.

- *Natuursteen, zoals basalt, Doornikse steen en graniet*
  - Als een steenzetting goed geklemd is, moet een zetsteen uit de bekleding gehaald worden en moet de gemiddelde dikte bepaald worden van de eruit gehaalde en de omringende stenen. Dat gemiddelde geldt als de maatgevende toplaagdikte op de opengebroken locatie.
  - Als een steenzetting niet goed geklemd is, moet een zetsteen uit de bekleding gehaald worden en moet van die steen en de omringende stenen de minst dikke steen geselecteerd worden. De dikte van die steen geldt als de maatgevende toplaagdikte op de opengebroken locatie.

De kleinste waarde van al deze locaties is de maatgevende toplaagdikte voor het segment.

- *Noorse steen, Vilvoordse steen en Lessinische steen*

Indien sprake is van Noorse steen, Vilvoordse steen of Lessinische steen moet in plaats van de toplaagdikte  $D$  de nominale steendiameter  $D_{n50}$  gebruikt worden in de beoordeling. De  $D_{n50}$  is gelijk aan de riblengte van een kubus, die hetzelfde volume heeft als de steen die door 50% van de stenen wordt onderschreden. Bepaal dit gemiddelde op basis van 8 stenen per meetlocatie.



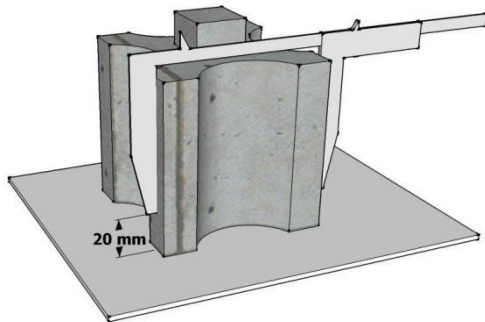
## 6.9

**Breedte B en lengte L van de zetstenen**

De breedte van de zetstenen ( $B$  [m]) wordt gemeten langs het talud omhoog (haaks op de dijkas). De lengte van de zetstenen ( $L$  [m]) wordt gemeten evenwijdig aan de waterlijn (in de richting van de dijkas). Voor steenzettingen met een niet rechthoekige vorm, zoals basalt en Basalton, is het niet nodig de lengte en breedte van de zetstenen in te voeren in Steentoets. De lengte en breedte van de zetsteen is essentieel als de spleetbreedte van de steenzetting is ingevoerd, in plaats van het relatieve open oppervlak.

De afmetingen hoeven niet tot op de mm bekend te zijn, een nauwkeurigheid van een paar cm is voldoende.

De lengte en breedte van de zetstenen worden gemeten door een rechthoek te tekenen rondom de buitenste contouren van de zetsteen (projectie op het grondvlak) en de lengte en breedte van deze rechthoek te meten. De lengte en de breedte van de zetstenen worden over de hoogte gemeten tot 20 mm van de onderzijde (zie Figuur 6.8), en afgerond op hele millimeters.



Figuur 6.8 Plaats voor de bepaling van de lengte en de breedte van een zetsteen.

Voor betonnen zetstenen is het voldoende om van elk type steen uit een set de lengte en breedte op te meten. Voor de beoordeling wordt het gewogen gemiddelde gebruikt, waarbij het aantal stenen van elk type per set de wegingsfactor bepaald.

Voor natuursteen moeten 10 aselekt gekozen stenen gemeten worden en wordt het gemiddelde in de beoordeling gebruikt.

## 6.10

**Spleetbreedte van de langs-  $s_l$  en stootvoegen  $s_s$** 

De spleten tussen de gezette stenen die evenwijdig aan de waterlijn lopen worden aangeduid als langsvoegen; de spleten tussen de gezette stenen die langs het talud omhoog lopen worden aangeduid als stootvoegen. De gemiddelde spleetbreedte van de langsvoegen ( $s_l$  [mm]) en die van de stootvoegen ( $s_s$  [mm]) zijn relevant voor rechthoekige betonblokken, koperslabblokken en sommige natuursteen. Voor alle andere typen wordt het relatieve open oppervlak gebruikt in de beoordeling. De grootte heeft vooral invloed op de mechanismen 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG' en 'Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag ZMG'.

Per locatie wordt de spleetbreedte van alle spleten in  $1 \text{ m}^2$  opgemeten en wordt het gewogen gemiddelde berekend, waarbij lange spleten evenredig zwaarder meetellen dan korte spleten. Dit moet op een aantal locaties opgemeten worden:

- Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op ca 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
- Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.
- Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:
- op 1 niveau op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op 1 m van de onderste overgangsconstructie, langs het talud gemeten.

De kleinste waarde van alle gewogen gemiddelden (locaties) is maatgevend.

Er mag desgewenst onderscheid gemaakt worden in stoot- en langsvoeegen. De langsvoeegen lopen evenwijdig aan de waterlijn en de stootvoegen haaks daarop. Dit loont doorgaans alleen de moeite als een van de twee voegen afstandhouders heeft waardoor deze veel groter zijn dan de andere spleten.

De metingen moeten worden uitgevoerd met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 mm en het gewogen gemiddelde wordt ingevoerd met nauwkeurigheid van 0,1 mm of naar beneden afgerond op hele millimeters.

## 6.11

### Open oppervlak $\Omega$

Het relatieve open oppervlak ( $\Omega$  [-]) is de verhouding tussen het oppervlak aan spleten (en gaten) en het totale zettingoppervlak. Voor rechthoekige betonblokken, koperslakkblokken en sommige natuursteen wordt meestal de spleetbreedte ingevoerd en is deze parameter dan niet relevant, zie paragraaf 6.10. De grootte heeft vooral invloed op de mechanismen 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG' en 'Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag ZMG'.

Voor veel betonnen steenzettingen is het relatieve open oppervlak bekend en is opmeten op de dijk niet nodig, mits de goede kwaliteit van het zetwerk is geverifieerd:

- Basalton, standaard sets: 13%.
- Basalton, bochtensets: 10%.
- Hydroblocks: 11%.
- Ronaton: 10%.
- Hillblocks: 8,5%.
- Verkalit met gegroefde veer: 6,5%.
- C-Star: 11%.

Het eventueel aanwezige inwasmateriaal doet niet ter zake voor het relatieve open oppervlak: het wordt genegeerd.

Voor betonnen zetstenen geldt dat het relatieve open oppervlakte fysiek mag worden gemeten met een aantal zetstenen op een vlakke ondergrond, maar het mag ook bepaald worden aan de hand van de maltekening van de zetsteen. Het wordt berekend door het optellen van de oppervlakten van de openingen tussen en in de zetstenen van een representatieve steenzettingsoppervlakte. Daartoe zijn de zetstenen (werkelijk of denkbeeldig) op een horizontaal oppervlak geplaatst en wordt de open oppervlakte van elke opening apart bepaald ter hoogte van een horizontaal vlak. De hoogte van dit horizontale vlak is bij elke opening zo gekozen dat de open oppervlakte het kleinst is.

De som van alle open oppervlakken (dit is ten minste zo groot als een patrooneenheid), gedeeld door de representatieve steenzettingsoppervlakte, is de relatieve open oppervlakte. De relatieve open oppervlakte wordt uitgedrukt in een percentage.

Voor basalt wordt doorgaans 12% aangehouden, tenzij het duidelijk erg strak of erg ruim is gezet. Voor de overige natuursteen moet het opgemeten worden aan de hand van een haaks op het talud genomen foto van ca 1 m<sup>2</sup> steenzetting.

Dit moet op een aantal locaties opgemeten worden:

- Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op ca 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
- Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.
- Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:
- op 1 niveau op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op 1 m van de onderste overgangsconstructie, langs het talud gemeten.

Doorgaans is het voldoende om het percentage af te ronden op hele procenten, tenzij het kleiner is dan 4%, want dan is het raadzaam om 1 cijfer achter de komma te geven. Als het open oppervlak eenmaal is opgemeten, kan het bij elke volgende beoordeling weer gebruikt worden, totdat de steenzetting wordt herzet.

6.12

#### **Gaten in de steen**

Bij rechthoekige betonblokken kunnen er gaten in de stenen voorkomen die bijdragen aan de doorlatendheid van de toplaag. De diameter en het aantal per blok kan, naast de spleetbreedte, in Steentoets worden ingevoerd.

Bij steenzettingen waarvoor het relatieve open oppervlak wordt gebruikt in de beoordeling, mogen de gatafmetingen niet gebruikt worden. Deze zijn immers al verdisconteerd in het relatieve open oppervlak.

De grootte heeft vooral invloed op de mechanismen 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG' en 'Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag ZMG'.

6.13

#### **Karakteristieke opening**

De karakteristieke opening in de steenzetting is relevant voor het mechanisme 'Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag ZMG'.

De karakteristieke opening is zo groot als de grootste bal die geheel door spleten en gaten in de steenzetting kan vallen als deze zou zweven boven de ondergrond.

Voor veel betonnen zetstenen is de karakteristieke openingsgrootte bekend:

- Basalton: 7 cm.
- Hydroblocks: 5 cm.
- Ronaton: 3,5 cm.
- Hillblocks: 4 cm.
- Veralit met gegroefde veer: 1,6 cm.
- C-Star: 4 cm.

Het eventueel aanwezige inwasmateriaal doet niet ter zake voor de karakteristieke opening: het wordt genegeerd.

Voor basalt wordt doorgaans 6 cm aangehouden, tenzij het duidelijk erg strak of erg ruim is gezet. Voor de overige natuursteen moet het opgemeten worden door visueel te schatten wat de grootste opening is en de diameter te meten van de grootste bal die erdoor zou passen. Men hoeft niet te zoeken naar de grootste van het hele segment: het gaat om het gemiddelde van "de grootste opening per orde 25 m<sup>2</sup> bekleding".

De waarde mag afgerond worden op een geheel aantal centimeters, tenzij de waarde kleiner is dan 3 cm, want dan is afronden op een geheel aantal mm beter.

6.14

#### **Soortelijke massa van de stenen $\rho_s$ en van water $\rho_w$**

De soortelijke massa van een zetsteen (dichtheid) ( $\rho_s$  [kg/m<sup>3</sup>]) kan worden bepaald door het gewicht te meten boven water en onder water. De procedure is als volgt:

- Voor het bepalen van de soortelijke massa is het allereerst belangrijk dat de zetstenen verzadigd zijn met water. Dit kan bereikt worden door de zetsteen circa 2 uur onder water te doen.
- Het onder-water-gewicht van de verzadigde zetsteen kan gemeten worden door de zetsteen in een netje aan een unster te hangen. Eventueel kan ook een klein hysog in de zetsteen aangebracht worden, waardoor de zetsteen via een touw aan de unster bevestigd kan worden. Het onder-water-gewicht kan bepaald worden door de unster af te lezen terwijl de zetsteen onder water hangt, vrij van de bodem of andere obstakels en vrij van de wand van een eventuele bak. Er moet gecorrigeerd worden voor het (onder-water-)gewicht van het netje of het touw.

- Het boven-water-gewicht van de verzadigde zetsteen wordt op vergelijkbare manier bepaald als het onder-water-gewicht, maar in dit geval bevindt de zetsteen zich boven water. Het op de unster afgelezen gewicht moet in dit geval gecorrigeerd worden voor het boven-water-gewicht van het net of touw plus hyssoog.
- De soortelijke massa wordt berekend met de volgende formule.

$$\rho_s = \rho_w \times \frac{G_{\text{verzadigd}}}{G_{\text{verzadigd}} - G_{\text{onder water}}} \quad (5.1)$$

Waarin:

$\rho_s$	soortelijke massa van de stenen in de toplaag (natte dichtheid) [kg/m <sup>3</sup> ].
$\rho_w$	dichtheid van het water [kg/m <sup>3</sup> ].
$G_{\text{verzadigd}}$	boven-water-gewicht van de verzadigde zetsteen [kg].
$G_{\text{onder water}}$	onder-water-gewicht van de verzadigde zetsteen [kg].

Opgemerkt wordt dat de gewichten ook in gram(kracht) bepaald kunnen worden. Voor de dichtheid van water ( $\rho_w$ ) mag 1000 kg/m<sup>3</sup> worden aangehouden als de meting wordt uitgevoerd met zoet water. Voor zout water geldt  $\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$ .

Maatgevend is de waarde die door 5% van de metingen wordt onderschreden. Dit mag berekend worden op basis van het gemiddelde  $\mu$  en de standaardafwijking  $\sigma$ , namelijk:  $\mu - 1,64\sigma$ .

Als de dichtheid niet wordt ingevuld in Steentoets, dan wordt er gerekend met een default waarde (zie bijlage A). De grootte van de parameter heeft echter grote invloed op het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG' en het is daarom beter de waarde nauwkeurig te bepalen (met nauwkeurigheid van  $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ ).

Voor de soortelijke massa van water ( $\rho_w$  [kg/m<sup>3</sup>]) wordt voor de binnenwateren (zoet) 1000 kg/m<sup>3</sup> gehanteerd en voor de kust, estuaria en Europoort (zout) 1025 kg/m<sup>3</sup>.

## 6.15

### Inwasmateriaal

Inwasmateriaal is de steenslag die in de openingen en voegen is gedaan om een betere interactie te krijgen tussen de zetstenen. Het later ingespoelde zand, slib en schelpen tellen niet mee als inwasmateriaal. Rechthoekige betonblokken worden doorgaans niet ingewassen. Het inwasmateriaal wordt gekarakteriseerd door de korrelgrootte die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden ( $d_{15}$  [m]). De waarde hiervan is belangrijk voor het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG'. De waarde mag afgerond worden op hele mm.

Als de onder- en bovengrens van de gradering bekend zijn, bijvoorbeeld 11-32 mm, kan de ondergrens als redelijke schatting voor de  $d_{15}$  aangehouden worden (11 mm in dit voorbeeld). Anders moet op enkele plaatsen wat inwasmateriaal uit de voegen worden gehaald en beoordeeld. Neem daarvoor wat inwasmateriaal en verwijder het zand, slib en schelpen. Kies vervolgens uit 20 korrels de een na de kleinste en meet de diameter. Dat is een schatting van de  $d_{15}$ .

Als geen waarde voor de karakteristieke korreldiameter wordt opgegeven, wordt gerekend met een korrelgrootte van 5 mm.

Het inwasmateriaal moet ten minste tot de helft van de spleetdiepte aanwezig zijn (minstens  $\frac{3}{4}$  van voethoogte bij Hillblocks), anders kan de steenzetting niet als geklemd beschouwd worden.

## 6.16

### Kwaliteit van de klemming van de toplaag

Voor een goed ingewassen (dicht gezette) steenzetting geldt dat de interactie tussen de stenen goed is. Men spreekt dan van een goed geklemd steenzetting. De spleten moeten minstens voor de helft van de spleethoogte gevuld zijn met steenslag (minstens  $\frac{3}{4}$  van voethoogte bij Hillblocks), waarbij zand en slib niet meetellen. Rechthoekige blokken zonder inwassing zijn niet goed geklemd.

Als het met de handen lukt om een zetsteen uit de bekleding te trekken, is de steenzetting niet goed geklemd. Dit kan het geval zijn bij slecht ingewassen basalt. Het is dan ook te merken dat de stenen wat bewegen als men erover loopt.

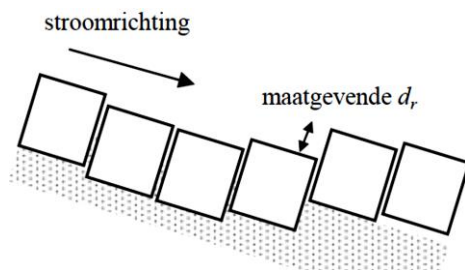
In geval van twijfel kan overwogen worden om trekproeven uit te voeren. Dit geldt echter als een onderdeel van de *toets op maat* en kan alleen op een goede manier worden uitgevoerd door deskundigen. Om een goede klemming te kunnen aantonen, zijn enkele honderden trekproeven nodig.

6.17

### Oneffenheden havendam

De mate waarin stenen verzakt zijn of stenen boven de omliggende stenen uitsteken wordt de oneffenheid van de steenzetting genoemd. Het is relevant voor havendammen. Het gaat om de hoogte van de grootste opstaande rand in de steenzetting, waartegen de golfoverslag aan kan stromen, gevormd door twee stenen in opeenvolgende rijen (zie Figuur 6.9). De slechtste plek wordt op het oog geselecteerd en vervolgens opgemeten. Alleen oneffenheden die groter zijn dan 10% van de toplaagdikte zijn relevant. Als de oneffenheden kleiner zijn, mag nul worden ingevoerd.

De waarde hiervan is belangrijk voor het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG'. De waarde mag afgerond worden op hele cm.



Figuur 6.9 Definitie van de oneffenheid  $d_r$  van een steenzetting op een havendam (in dit voorbeeld: binnentalud)

6.18

### Kwaliteit van een ingegoten steenzetting

Voor het beoordelen van steenzettingen die ingegoten zijn met asfaltmastiek (ook wel onterecht gietasfalt genoemd) moet de kwaliteit van de ingieting beoordeeld worden. Als de steenzetting is ingegoten met beton, dan is een kwantificering van de kwaliteit niet nodig omdat er van uitgegaan wordt dat de kwaliteit vrij slecht is.

De kwaliteit wordt gekenmerkt door de gemiddelde diepte tot waar het asfaltmastiek in de spleten en gaten tussen de zetstenen zit (diepte tot waar de ingieting tussen de stenen is doorgedrongen).

De diepte tot waar het asfaltmastiek in de spleten zit kan slechts bepaald worden door op een aantal locaties een steen uit de bekleding te slopen (zie Figuur 3.1), of door middel van een boring met een kernboor op de kruising van de spleten. Als dat voor een bepaalde beoordeling is uitgevoerd, kunnen de resultaten ook in toekomstige beoordelingen gebruikt worden. Dit moet op een aantal locaties opgemeten worden:

- Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op ca 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
- Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.
- Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:
- op 1 niveau op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op 1 m van de onderste overgangsconstructie, langs het talud gemeten.

Eventueel kan ook eerst berekend worden wat de minimaal benodigde ingietdiepte is voor een positief oordeel. Vervolgens is het wellicht makkelijker aan te tonen dat deze ingietdiepte aanwezig is.

## 6.19

### Eigenschappen van geotextiel tussen toplaag en filter

Als de zetsteen op geotextiel op zand of klei ligt (zonder granulaire laag zoals bijvoorbeeld steenslag), is alleen de  $O_{90}$  (maaswijdte) van het geotextiel nodig voor de beoordeling. Als het type geotextiel bekend is, kan de  $O_{90}$  opgevraagd worden bij de leverancier. Zoniet, dan kan de  $O_{90}$  in een laboratorium bepaald worden aan de hand van een monster.

Als de zetsteen op een geotextiel ligt met daaronder een granulaire laag (zoals steenslag, mijnsteen, silex, slak, etc.) dan zijn alleen de dikte ( $T_{g,2}$  [mm]) en de waterdoorlatendheid van het geotextiel nodig voor de beoordeling. Deze waarden zijn belangrijk voor het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG'.

Als het type geotextiel bekend is, kan ook dit opgevraagd worden bij de leverancier, net als de  $O_{90}$ . Zoniet, dan moet het in een laboratorium bepaald worden aan de hand van enkele monsters. Voor het bepalen van de waterdoorlatendheid gaat het daarbij om het meten van het debiet per eenheid van doorstroomoppervlak ( $q_{geo,2}$  [liter/s/m<sup>2</sup>]) en het daarbij optredende verval over het geotextiel ( $h_{geo,2}$  [mm]).

## 6.20

### Eigenschappen van het granulaire filter

De eigenschappen van de granulaire lagen onder de toplaag zijn belangrijk voor alle faalmechanismen. In de meeste gevallen worden onder de zetsteen één of meerdere lagen granulair materiaal toegepast (steenslag, mijnsteen, silex, slak, etc.). Van elk van deze lagen zijn de volgende eigenschappen essentieel voor de beoordeling:

- Dikte van de granulaire laag:  $b_f$  [m] (gemeten haaks op het taludoppervlak), afgerond op gehele cm.
- Karakteristieke korrelgrootte:  $d_{f15}$  [mm] (zeefmaat waarop 15% op basis van gewicht blijft liggen), afgerond op gehele mm.
- Porositeit:  $n_f$  [-].

Als daarnaast de  $d_{f50}$  beschikbaar is, kan de beoordeling van het mechanisme "Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG" nauwkeuriger worden uitgevoerd, dan wanneer dit niet beschikbaar is. In het laatste geval wordt met een default waarde gerekend:  $d_{f50} = 1,2d_{f15}$ .

Deze gegevens zouden beschikbaar kunnen zijn uit de 'as built'-tekeningen of metingen die uitgevoerd zijn tijdens de aanleg van de steenzetting. De bestek- of contractgegevens kunnen onjuist zijn.

Als de gegevens niet beschikbaar zijn, moeten ze opgemeten worden door de steenzetting op een aantal locaties open te breken en een monster te analyseren (zie Figuur 3.1):

- Schatting  $d_{f15}$ : Neem daarvoor wat van het granulaire materiaal en verwijder het zand, slib en schelpen. Kies vervolgens uit 20 korrels de één na de kleinste en meet de diameter.
- Nauwkeurige meting van  $d_{f15}$ ,  $d_{f50}$  en  $d_{f90}$ : neem een monster van 2 à 5 kg en laat dit zeven in een laboratorium.

Als het een oude steenzetting met vlijlagen betreft, moet er voorzichtig in het filter gegraven worden, omdat anders de granulaire laag vermengd wordt met de vlijlagen.

De eigenschappen van de granulaire laag moeten op een aantal locaties opgemeten worden:

- Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op ca 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
- Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.

- Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:
- op 1 niveau op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op 1 m van de onderste overgangsconstructie, langs het talud gemeten.

De grootste waarde van de laagdikte en  $d_{f15}$  is maatgevend voor het dijkvak.

De porositeit moet geschat worden aan de hand van de breedte van de gradering van het filter. Voor een smal gegradeerd filter ( $d_{f15}/d_{i90} < \text{ca } 2$ ) geldt dat de porositeit ongeveer 0,4 is, terwijl dit voor een breed gegradeerd filter veel kleiner is (als schatting voor  $d_{f15}/d_{i90} \approx 10$  geldt:  $n \approx 0,3$ ).

Het komt tegenwoordig voor dat in plaats van klei een laag mijnsteen of hydraulische slak wordt toegepast. In dat geval moet de laag niet als kleilaag ingevoerd worden, maar als granulaire laag met de juiste aanduiding van het toegepaste materiaal.

## 6.21

### Eigenschappen van het geotextiel onder de filterlaag

De volgende eigenschappen van het geotextiel zijn nodig voor de beoordeling:

- Dikte:  $T_{g,1}$  [mm].
- Karakteristieke maaswijdte:  $O_{90}$  [mm].
- In sommige gevallen is de waterdoorlatendheid ook nodig:  $q_{geo,1}$  [l/s/m<sup>2</sup>].

Als het type geotextiel bekend is, kunnen de eigenschappen opgevraagd worden bij de leverancier. Zo niet, dan moeten de parameters in een laboratorium bepaald worden aan de hand van enkele monsters. Voor de bepaling van de doorlatendheid gaat het om het meten van het debiet per eenheid van doorstroomoppervlak ( $q_{geo,1}$  [liter/s/m<sup>2</sup>]) en het daarbij optredende verval over het geotextiel ( $h_{geo,1}$  [mm]). Voor de  $O_{90}$  is er een veilige default-waarde in Steentoets beschikbaar: 1 mm.

## 6.22

### Dijkopbouw en kleilaagdikte

De kleilaag is van belang voor het faalmechanisme 'Afschuiving ZAF', 'Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO' en 'Erosie van de onderlagen ZEO'.

De kleilaagdikte zou beschikbaar kunnen zijn uit de 'as built'-tekeningen of metingen die uitgevoerd zijn tijdens de aanleg van de steenzetting. De bestek- of contractgegevens zijn doorgaans niet nauwkeurig genoeg voor steenzettingen die deels onder de waterstand bij de norm liggen. Als de steenzetting geheel boven de waterstand bij de norm ligt, is een ruwe schatting reeds voldoende.

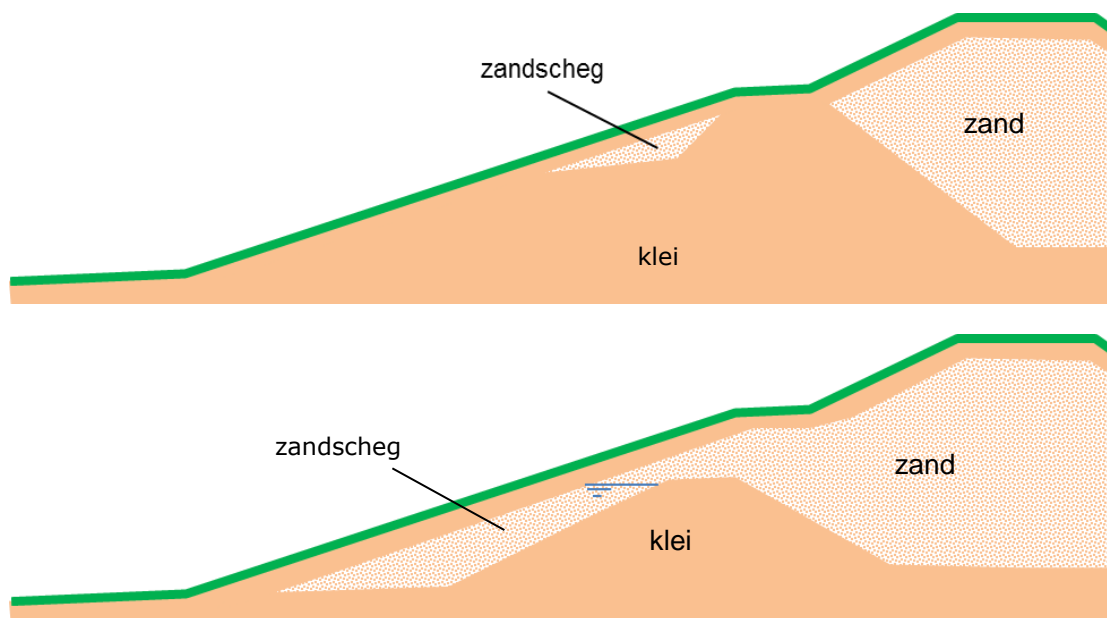
Als de kleilaagdikte niet bekend is, zal deze gemeten moeten worden op een aantal locaties door de steenzetting open te breken (zie Figuur 3.1):

- Segment ligt geheel onder de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: halverwege de segmenthoogte en vlak onder de bovenste overgangsconstructie (op ca 1 m van de overgang, langs het talud gemeten).
- Segment ligt deels boven de waterstand bij de norm:
- op 2 niveaus op elke 100 à 200 m opmeten: ongeveer op de waterstand bij de norm en halverwege de waterstand bij de norm en de onderste overgangsconstructie.
- Segment ligt geheel boven de waterstand bij de norm:
- een ruwe schatting of een enkele meting volstaat.

Als er zandlaagjes in de klei aanwezig zijn, moeten deze niet meegeteld worden bij het bepalen van de kleilaagdikte, zoals uitgelegd in paragraaf 6.24, zie Figuur 6.11.

Verder moet vastgesteld worden of er sprake is van een zandscheg. Dit kan het geval zijn als aan de zeezijde het profiel is aangevuld met zand met daarop een kleilaag, zie Figuur 6.10. Een zandscheg vormt een risico voor afschuiving als er wel water in kan komen (bij hoogwater of door regen), maar het er niet uit kan wegstromen. De standaard berekeningsmethode voor het

deelmechanisme 'afschuiving' is in zo'n geval niet toepasbaar omdat in de zandscheg een zeer hoge freatische lijn kan ontstaan, waar in de formules geen rekening mee wordt gehouden. Het is voldoende om dit te beoordelen aan de hand van de bouwtekeningen of bestek- of contractgegevens.



Figuur 6.10 Zandscheg

Tenslotte kan er een verhoogd risico op afschuiving zijn als de dijk zeer breed is, bijvoorbeeld omdat achter de dijk een hoog opgespoten industrieterrein ligt. De breedte van de dijk op een niveau van 2,5 m boven de gemiddelde buitenwaterstand, maar niet hoger dan de waterstand bij de norm, is hiervoor maatgevend. Als de breedte van de dijk daar groter is dan 150 m, wordt men voor afschuiving doorverwezen naar de *toets op maat*.

## 6.23

### Dijkbreedte op niveau van de waterstand bij de norm

De breedte van de dijk op het niveau van de waterstand bij de norm ( $B_{\text{dijk}}$  [m+NAP]) is van belang om vast te stellen of de dijk veel reststerkte heeft. Als de dijk veel reststerkte heeft, kan de eis die aan de topaagstabiliteit onder golfaanval wordt gesteld namelijk minder hoog worden. Dat wordt door Steentoets verrekend door middel van een veiligheidsfactor die op grond van de golfhoogte, de dijkbreedte en de kleilaagdikte wordt vastgesteld. Dit gebeurt aan de hand van volgende criteria:

$$\begin{aligned} \gamma = 0,9 \quad \text{als} \quad H_{m0} \leq 1,5 \text{ EN} \quad & \begin{cases} \text{of} & B_{\text{klei,t}} / H_{m0} \geq 0,8 \\ \text{of} & B_{\text{dijk}} / H_{m0} \geq 30 \end{cases} \\ \gamma = 1,1 \quad \text{als} \quad & \begin{cases} \text{of} & H_{m0} \geq 2 \\ \text{of} & (b_{\text{klei,t}} / H_{m0} < 0,8 \text{ EN } B_{\text{dijk}} / H_{m0} < 20) \\ \text{of} & \text{bovenrivieren} \end{cases} \\ \text{anders :} \quad & \gamma = 1,0 \end{aligned}$$

Als geen waarde voor de dijkbreedte is opgegeven, maar het gehele dijkprofiel (buitentalud, kruin en binnentalud) is wel opgegeven, dan berekent Steentoets hieruit de benodigde dijkbreedte. Bij gebrek aan gegevens wordt verondersteld dat de dijk weinig reststerkte heeft:  $\gamma = 1,1$ .



**Kwaliteit klei**

Als uit de berekening met Steentoets blijkt dat het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG', 'Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO' en/of 'Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG' dat de bekleding (nog) niet voldoet, kan de berekening van de 'Erosie van de onderlagen ZEO' uitkomst bieden. Dit aspect kan ook door Steentoets meegewogen worden in de veiligheidsfactor voor het beoordelen van het mechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG', zie paragraaf 6.23.

Om deze invloed in de beoordeling te kunnen meenemen, is de erosiebestendigheid van de klei van belang.

Onderstaande criteria en methodiek om de klei te categoriseren is specifiek bedoeld voor het beoordelen van de reststerkte van klei onder steenzettingen.

De erosiebestendigheid van de klei wordt uitgedrukt in drie categorieën:

- Goed erosiebestendig.
- Matig erosiebestendig.
- Slecht erosiebestendig: er is geen rekenkundige reststerkte van de kleilaag.

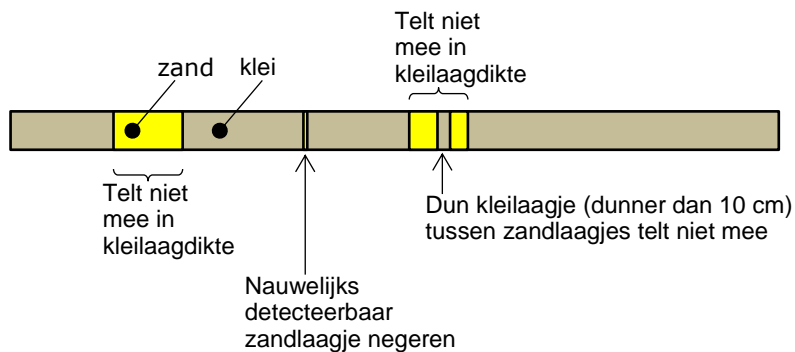
Indien beschikbare gegevens, bijvoorbeeld uit eerdere dijkversterkingen, onvoldoende zekerheid bieden over de erosiebestendigheid van de klei dan dient deze nader onderzocht te worden. Voor het beoordelen van de erosiebestendigheid van de klei moeten boringen uitgevoerd worden op een aantal locaties op het buitentalud van de dijk. Met een locatie wordt hier een stukje dijk met lengte van 5 à 10 m bedoeld (dus een brede dwarsdoorsnede). Op elke locatie moet 2 à 3 maal in een dwarsprofiel met een Edelmannboor (of gutsboor als dat lukt) tot de onderzijde van de klei geboord worden, of tot zo diep het mogelijk is. Op basis van deze boringen moet visueel bepaald worden of er sprake is van voldoende erosiebestendige klei en of er sprake is van erg zandige klei, zandlaagjes of puin/stenen in de klei. De boringen geven ook informatie over de aanwezigheid van verschillende soorten klei in de kleilaag. De resultaten worden vastgelegd in een boorstaat ten behoeve van het algehele oordeel over de kleilaag.

De visuele beoordeling kan uitgevoerd worden door mensen die een cursus hebben gevolgd bij bijvoorbeeld de hogeschool Van Hall Larenstein in Wageningen, of gelijkwaardige cursus. Beoordeeld moet worden of de klei voldoende samenhang heeft, vrijwel geen puin/stenen bevat en het mag niet sterk zandig zijn. Het mag wel een goede en compacte keileem zijn.

Aanbevolen wordt om boringen uit te voeren op ten minste één locatie per 100 à 200 m, afhankelijk van de variatie aan klei die aangetroffen wordt. Als de kleikwaliteit in een bepaalde zone op de dijk (bijvoorbeeld bij de teen, of boven GHW) duidelijk anders is, kan het zinnig zijn om deze apart te beschouwen.

Als deze metingen niet beschikbaar zijn, moet de beoordeling uitgevoerd worden alsof er onvoldoende erosiebestendige klei aanwezig is.

Bij het bepalen van de kleilaagdikte dient gelet te worden op de aanwezigheid van zandlagen, zandinsluitingen en zandlenzen in de klei. Nauwelijks detecteerbare zandlaagjes van minder dan een halve centimeter dik kunnen worden genegeerd. Maar de cumulatieve laagdikte van alle dikkere zandlaagjes in de klei moet worden afgetrokken van de totale kleilaagdikte, zie Figuur 6.11. Als er zandlaagjes in de klei zitten met een onderlinge afstand van minder dan 10 cm, wordt bovendien het tussenliggende kleilaagje afgetrokken van de totale kleilaagdikte (dus: kleilaagjes die dunner zijn dan 10 cm tellen niet mee).



Figuur 6.11 Voorbeeld van resultaat van boring met gutsboor (de bovenzijde zit links).

De zo verkregen effectieve kleilaagdikte wordt vermenigvuldigd met een factor  $f_{\text{kleidikte}}$  om de rekenwaarde van de kleilaagdikte te verkrijgen. Deze factor is afhankelijk van het aantal aaneengesloten lagen klei die dikker zijn dan 10 cm tussen de zandlaagjes:

- één aaneengesloten kleilaag zonder detecteerbare zandlaagjes:  $f_{\text{kleidikte}} = 1$
- twee lagen klei, met daartussen zandlaagjes en eventueel kleilaagjes die dunner zijn dan 10 cm:  $f_{\text{kleidikte}} = 0,9$
- drie lagen klei die elk gescheiden zijn door zandlaagjes:  $f_{\text{kleidikte}} = 0,8$
- vier lagen klei die elk gescheiden zijn door zandlaagjes:  $f_{\text{kleidikte}} = 0,7$
- vijf of meer lagen klei die elk gescheiden zijn door zandlaagjes:  $f_{\text{kleidikte}} = 0,6$

Zandlaagjes met geringe omvang (beperkt tot de lengtemaat van de kluiten van het aanbrengen) zijn hierin minder belangrijk dan zandlagen die zich over grotere lengtes (meters) uitstrekken. Als zo een laagje is geïdentificeerd, dan kan hoger op de dijk (op een afstand van bijvoorbeeld 3 m, langs het talud) nog een boring worden uitgevoerd om te zien of de zandlaag daar ook aanwezig is. Zo niet, dan wordt hij niet meegeteld voor de waarde van  $f_{\text{kleidikte}}$ .

Als er twijfel is over de kwaliteit van de klei, bijvoorbeeld omdat de klei in vochtige toestand weinig samenhang vertoont, moet een uitgebreide analyse in het laboratorium uitgevoerd worden. De erosiebestendigheid is voldoende (goed of matig) als aan de volgende eisen wordt voldaan:

- Zandgehalte is lager dan 40%
- Humusgehalte is lager dan 5%
- Vloeigrens:  $W_l > 40\%$

Aanbevolen wordt om van 2 à 5 representatieve monsters bovenstaande eigenschappen te bepalen (voor elk van de aangetroffen soorten grond in de kleibekleding), ook als visueel is vastgesteld dat de klei goed/matig erosiebestendig is.

Rekenen met slecht erosiebestendige klei, dus zonder reststerkte, levert een conservatief (veilig) oordeel waarmee de beoordeling kan worden gestart als er geen klei-gegevens zijn.

In sommige gevallen zal het nodig zijn om tevens de  $D_{50}$  en  $D_{90}$  van de klei te bepalen voor het beoordelen van het mechanisme "Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO". Als er een geotextiel is toegepast op de klei, is dit echter in de *gedetailleerde toets* niet nodig.

## 6.25

### Karakteristieke korrelgroottes van het zand

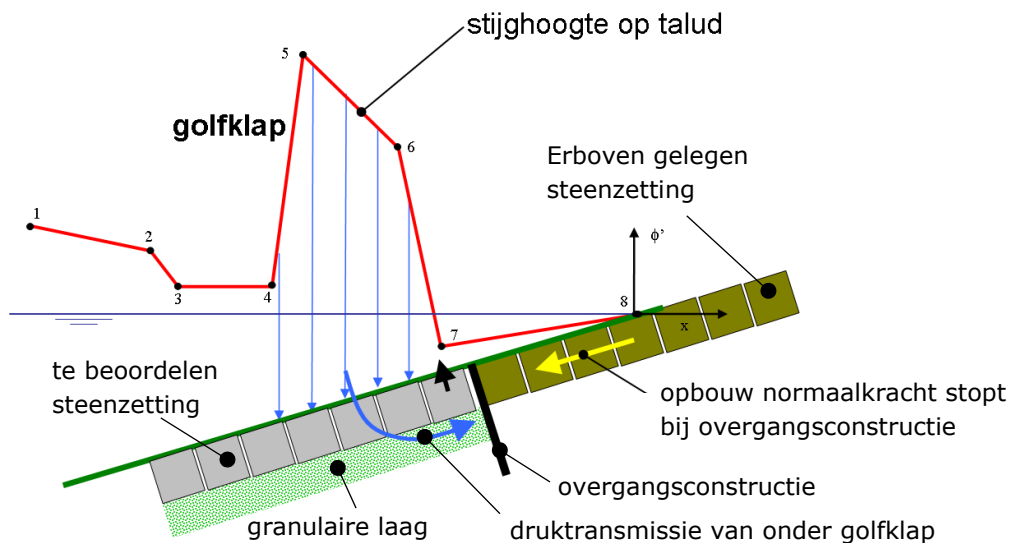
In sommige gevallen zal het nodig zijn om de  $D_{15}$ ,  $D_{50}$  en  $D_{90}$  van het zand te bepalen voor het beoordelen van het mechanisme "Materiaaltransport vanuit de ondergrond ZMO" en "Afschuiving". Als er een kleilaag is toegepast op het zand, dan is dit zelden nodig.

Als er geen gegevens van de aanleg beschikbaar zijn, moet de korrelgrootte van het zand bepaald worden. Omdat dit doorgaans vrij uniform is op een dijk, is één meting per 1000 m voldoende. De gemiddelde gemeten korrelgrootte is maatgevend voor het dijkvak.

## 6.26

### Type bovenste overgangsconstructie

De wijze waarop de steenzetting aan de bovenzijde van het segment aansluit op de daarboven gelegen bekleding (of constructie) is belangrijk voor het faalmechanisme 'Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG'. Deze overgang/aansluiting wordt de overgangsconstructie genoemd.



Figuur 6.12 De overgangsconstructie vermindert de opbouw van de normaalkracht en geeft lokaal een hoger stijghoogteverschil als de granulaire laag onderbroken is.

Voor een deel kan de benodigde informatie over de overgangsconstructies uit beheersdocumenten (contracten en revisietekeningen) worden gehaald, maar in de praktijk blijkt het vaak nodig of nuttig om de overgangen in het veld te controleren. Bepalend is de overgangsconstructie aan de bovenzijde van het segment, waarbij de volgende aspecten van belang zijn (zie Figuur 6.12):

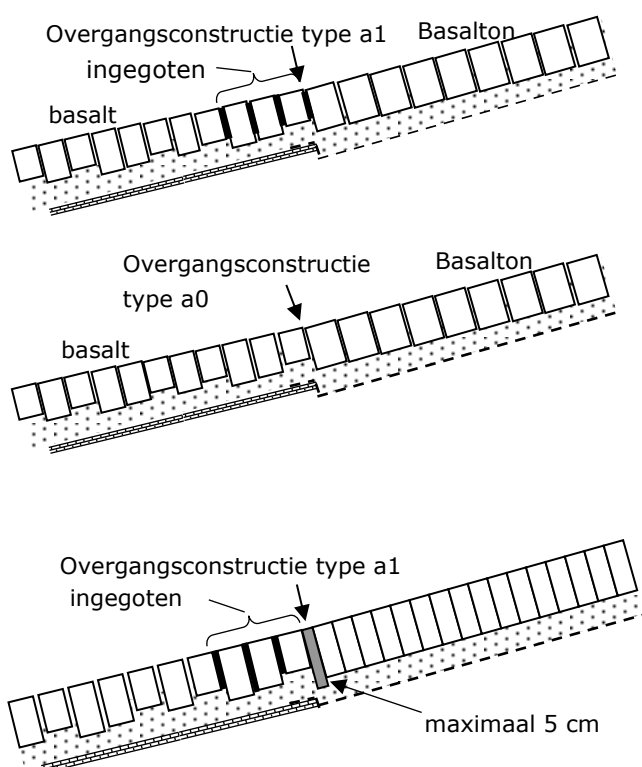
- wel/niet ingegoten met asfaltmastiek
- wel/niet afdichting van de filterlaag (waarbij het erom gaat of aangenomen kan worden dat het watertransport onder de overgang door nauwelijks minder is dan elders in het granulaire materiaal)
- wel/niet goede ondersteuning van de erboven gelegen steenzetting (wordt de normaalkracht, die langs het talud in de erboven gelegen steenzetting aanwezig is, doorgegeven naar de te beoordelen steenzetting)

Er zijn 6 typen:

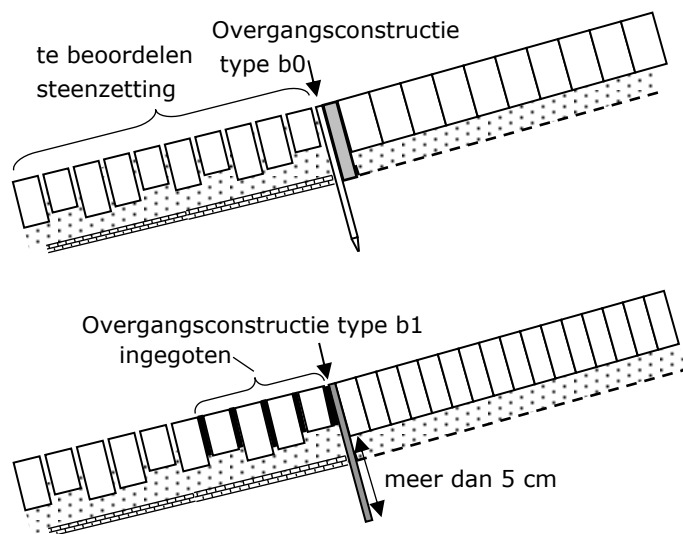
- overgang(sconstructie) waarbij de eventuele betonband, houten schot, of palenrij tot hooguit 5 cm onder de steenzetting in het filter/uitvullaag, zand of klei steekt (zie Figuur 6.13):
  - a0: zonder asfaltmastiek tussen de stenen vlak onder de overgang(sconstructie).
  - a1: met asfaltmastiek tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m net onder de overgang(sconstructie).
- overgang(sconstructie) waarbij de betonband, houten schot, of palenrij meer dan 5 cm onder de steenzetting in het filter/uitvullaag, zand of klei steekt (zie Figuur 6.14), en wel zodanig dat de normaalkracht van het erboven gelegen segment niet doorwerkt in het te beoordelen segment. Het gaat hierbij om de gewichtsc component evenwijdig aan het talud

die zorgt voor klemming (interactie tussen de stenen) in de steenzetting. Er zijn twee typen:

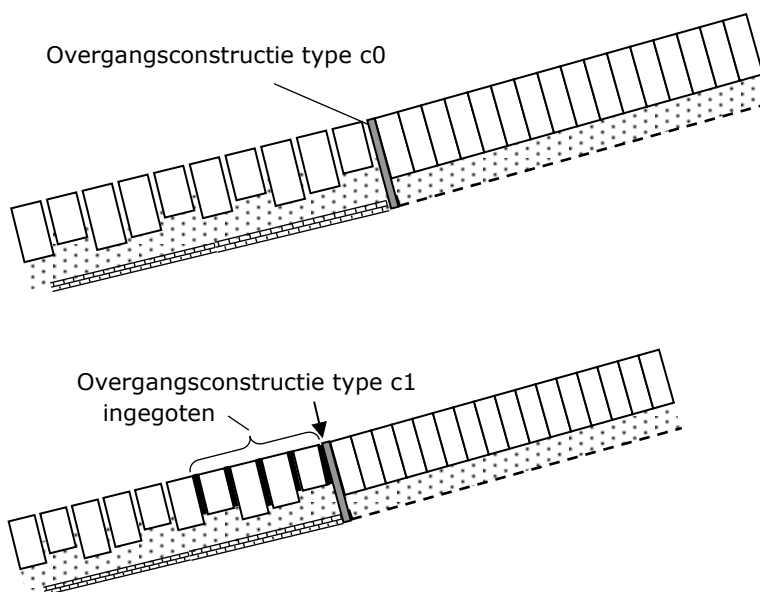
- b0: zonder asfaltmastiek tussen de stenen vlak onder de overgang(sconstructie).
- b1: met asfaltmastiek tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m net onder de overgang(sconstructie).
- overgang(sconstructie) waarbij de betonband, houten schot, of palenrij de stroming in het filter/uitvullaag blokkeert, maar waarbij de normaalkracht van het bovenliggende segment wel wordt doorgegeven (zie Figuur 6.15):
  - c0: zonder asfaltmastiek tussen de stenen vlak onder de overgang(sconstructie).
  - c1: met asfaltmastiek tussen de stenen in een strook van 0,4 à 2 m net onder de overgang(sconstructie).



Figuur 6.13 Voorbeelden van overgangen (overgangsconstructies) van type a0 en a1 (de te beoordelen steenzetting ligt onder de betreffende overgangsconstructie)



Figuur 6.14 Voorbeelden van overgangen (overgangsconstructies) van type b0 en b1



Figuur 6.15 De overgangsconstructie van het type c0 en c1, waarbij de normaalkracht van het bovenliggende segment wordt doorgegeven, maar de stroming in het filter wel geblokkeerd is.

De overgang van de steenzetting naar gras of asfalt is altijd van het type b0 of b1. De overgang(sconstructie) aan de onderzijde van een bekledingssegment is niet relevant, maar kan weer de bovenste overgang(sconstructie) zijn van het segment eronder.

Een overgang(sconstructie) onder het de waterstand bij de norm van het type b0, b1, c0 of c1 kan een grote invloed hebben op de stabiliteit. Net onder deze overgang(sconstructie) is lokaal de klemming (sterkte) kleiner (bij type b0 of b1), en bovendien zijn de stijghoogteverschillen (belasting) groter vanwege het feit dat de stroming in het filter/uitvullaag geblokkeerd is door de overgang(sconstructie) (bij type b0, b1, c0 of c1).

Het is daarom belangrijk het type overgang(sconstructie) zorgvuldig te kiezen, zodat niet onnodig steenzettingen worden afgekeurd, of onterecht worden goedgekeurd.

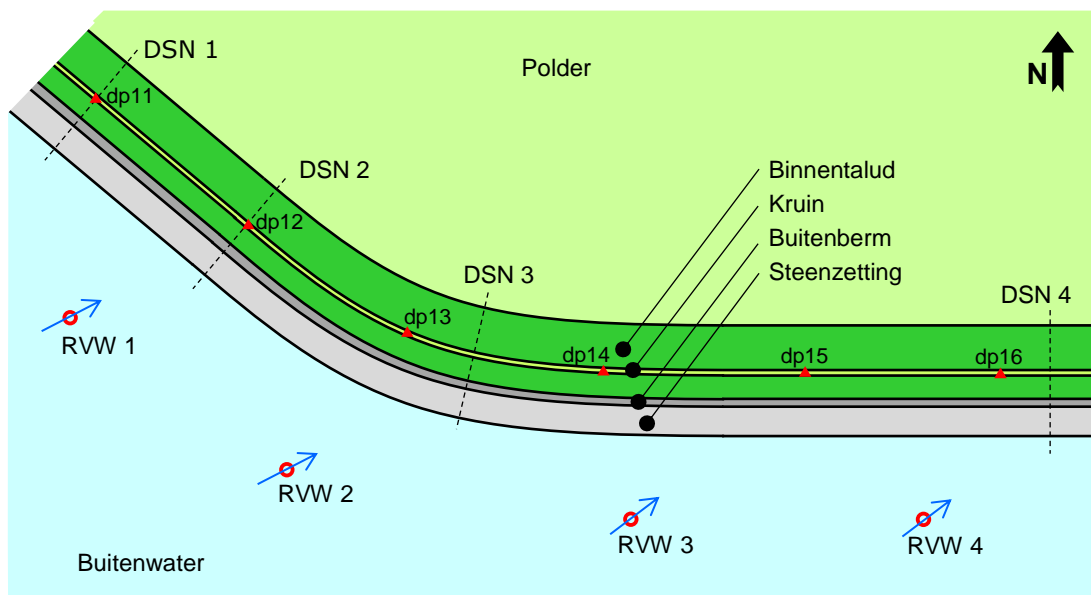


## 7 Voorbeeld

### 7.1

#### Inleiding

In dit hoofdstuk is een voorbeeld uitgewerkt van een beoordeling van enkele steenzettingen op een fictieve dijk. Het dient als illustratie van de werkwijze voor het bepalen van de maatgevende parameters, zoals dit beschreven is in deze schematiseringshandleiding.



Figuur 7.1 Bovenaanzicht van de dijk met steenzettingen

Het bovenaanzicht van de dijk met steenzettingen is gegeven in Figuur 7.1. De rode driehoeken op de kruin zijn de dijkepalen met het dijkepalnummer.

In de figuur is te zien dat de dijk niet overal dezelfde richting heeft. In het westen heeft de dijk een oriëntatie van 220° en in het oosten een oriëntatie van 180°. Er zijn vier uitvoerpunten voor de hydraulische belastingen voor de dijk aanwezig (rode cirkels), aangeduid met RVW1 t/m RVW4, waar de hydraulische belastingen (waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting) beschikbaar zijn. De globale golfrichting is in de figuur aangegeven met een blauwe pijl.

Op sommige locaties zijn dwarsprofiel beschikbaar, aangeduid met DSN1 t/m DSN4.

Het talud onder de berm bestaat uit een steenzetting, die in dit voorbeeld behandeld wordt.

### 7.2

#### Hydraulische belastingen

Op diverse plaatsen voor de dijk worden door Ringtoets de hydraulische belastingen gegenereerd. Voor steenzettingen bestaan deze uit een tabel met golfhoogte, golfperiode en golfrichting bij een aantal waterstanden. Hoewel in Ringtoets er per halve meter waterstand golfcondities worden gegeven, zijn voor de eenvoud in dit voorbeeld de golfcondities gegeven bij een waterstand van NAP+0 m, NAP+2 m, NAP+4 m, NAP+6 m. De golfbelastingen voor dit voorbeeld zijn gegeven in Tabel 7.1.

**Tabel 7.1 Golfbelastingen ( $\beta_g$  [°] = richting van waar de golven komen ten opzichte van Noord)**

Waterstand		RVW 1	RVW 2	RVW 3	RVW 4
NAP+0 m	$H_{m0}$ [m]	1,60	1,62	1,65	1,55
	$T_{m-1,0}$ [s]	5,32	5,35	5,31	5,07
	$\beta_g$ [°]	240	235	220	215
NAP+2 m	$H_{m0}$ [m]	1,72	1,74	1,77	1,67
	$T_{m-1,0}$ [s]	5,25	5,29	5,33	5,18
	$\beta_g$ [°]	240	235	225	220
NAP+4 m	$H_{m0}$ [m]	1,89	1,91	1,95	1,84
	$T_{m-1,0}$ [s]	5,35	5,46	5,59	5,43
	$\beta_g$ [°]	245	240	230	225
NAP+6 m	$H_{m0}$ [m]	2,08	2,10	2,14	2,03
	$T_{m-1,0}$ [s]	5,25	5,35	5,53	5,54
	$\beta_g$ [°]	245	240	230	225

Hieruit kan de hoek van golfaanval ten opzichte van de dijknormaal worden bepaald, zie Tabel 7.2, waarbij aangenomen is dat bij RVW 2 de dijknormaal gedraaid is naar 200°.

**Tabel 7.2 Hoek van golfaanval ten opzichte van de dijknormaal**

Waterstand	hoek van golfaanval t.o.v. dijknormaal $\beta$ [°]			
	RVW 1	RVW 2	RVW 3	RVW 4
NAP+0 m	20	35	40	35
NAP+2 m	20	35	45	40
NAP+4 m	25	40	50	45
NAP+6 m	25	40	50	45

De zwaarte van de golfbelasting kan bepaald worden met formule (4.1). Naarmate de daarmee berekende waarde van  $S$  groter is, is de hydraulische belasting op de steenzetting groter. Het resultaat van de berekeningen is gegeven in Tabel 7.3. Deze belastingintensiteit is relevant voor de keuze van het maatgevende HB-uitvoerpunt voor de verschillende steenzettingen. Duidelijk is te zien dat met het stijgen van de waterstand ook de belastingintensiteit stijgt. Bij NAP+6 m neemt de golfhoogte van RVW 1 t/m RVW 3 toe, maar in Tabel 7.3 is te zien dat de belastingintensiteit afneemt. Dit is met name vanwege de toename van de hoek van golfaanval. Van RVW 3 naar RVW 4 neemt de belastingintensiteit weer toe.

**Tabel 7.3 Belastingintensiteit  $S$** 

Waterstand	Belastingintensiteit $S$			
	RVW 1	RVW 2	RVW 3	RVW 4
NAP+0 m	8,16	7,59	7,34	6,87
NAP+2 m	8,67	8,05	7,49	7,24
NAP+4 m	9,48	8,75	8,11	7,92
NAP+6 m	10,24	9,42	8,80	8,91

### 7.3

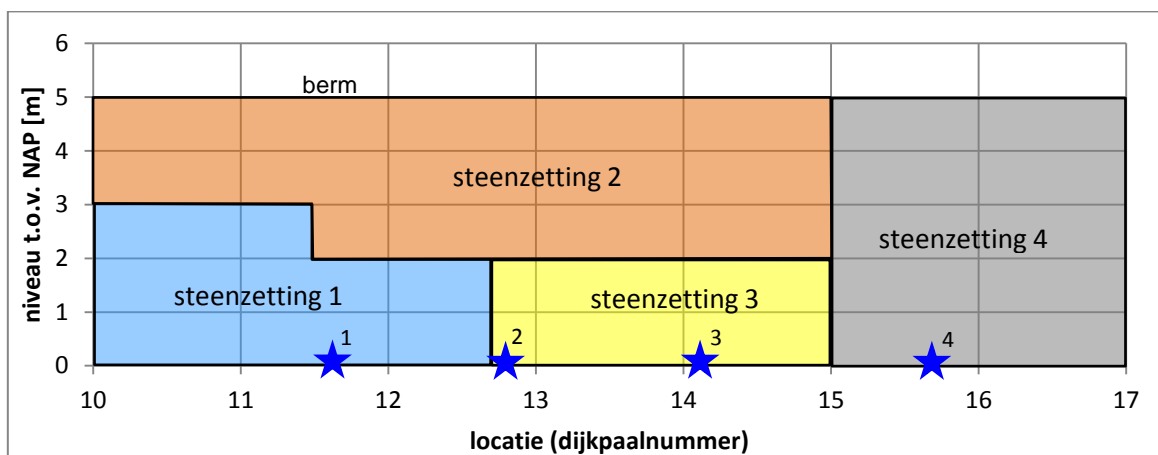
#### Inventarisatie van de steenzettingen

De inventarisatie begint met het identificeren waar de verschillende steenzettingen zich bevinden. In het huidige voorbeeld liggen ze allemaal onder de berm en onderscheiden we voorlopig vier verschillende steenzettingen:

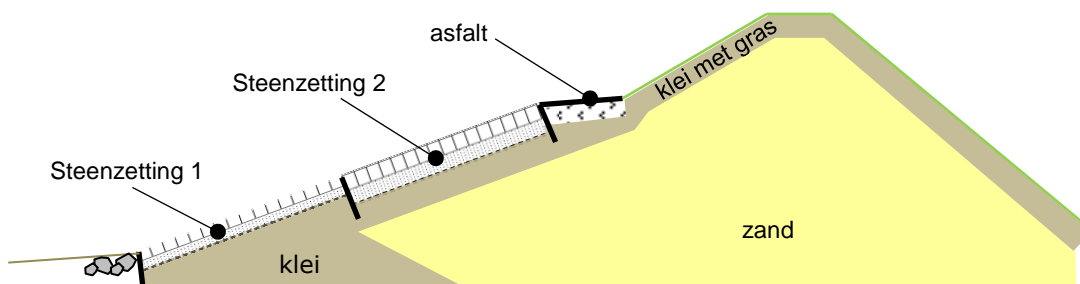
1. Basalton met toplaagdikte van 35 cm
2. Basalton met toplaagdikte van 40 cm
3. Basalt 30-40 cm
4. Hydroblocks met toplaagdikte van 40 cm

Van de situatie is een vooraanzicht gemaakt, zoals je de steenzetting zou zien vanaf een bootje op het water, zie Figuur 7.2. De horizontale schaal is anders dan de verticale schaal in deze figuur. Het dwarsprofiel ter plaatse van DSN 2 is als voorbeeld gegeven in Figuur 7.3.





Figuur 7.2 Vooraanzicht van de steenzettingen op de dijk (blauwe ster is HB-uitvoerpunt)



Figuur 7.3 Dwarsdoorsnede van de dijk ter plaatse van DSN 2

Het niveau van de aansluiting van steenzetting 1 op steenzetting 2, namelijk het niveau van de bovenste overgangsconstructie van steenzetting 1, is niet overal gelijk. Bij dp12,5 verspringt het van NAP+2,00 m naar NAP+3,00 m. Daarom moet steenzetting 1 gesplitst worden in respectievelijk steenzetting 1a en 1b. Het niveau van de onderste overgangsconstructie van steenzetting 2 verspringt hier ook, maar dit heeft in dit geval geen invloed op het oordeel. Mocht er twijfel over zijn, dan is het aan te raden om ook steenzetting 2 te splitsen.

Voor de richting van de dijknormaal wordt de meest ongunstige waarde ten opzichte van de golven aangehouden. Dat houdt in dat voor steenzetting 1, 2 en 3 de richting 220°N worden aangehouden en voor steenzetting 4 is het 180°N. Het voorland ligt bij de teen van deze dijk over de volle lengte op NAP+0,00 m. Het loopt af met een gemiddelde helling van ongeveer 1:40.

Verder geldt dat de zorgplicht naar behoren is uitgevoerd en bij controle door ILT akkoord was.

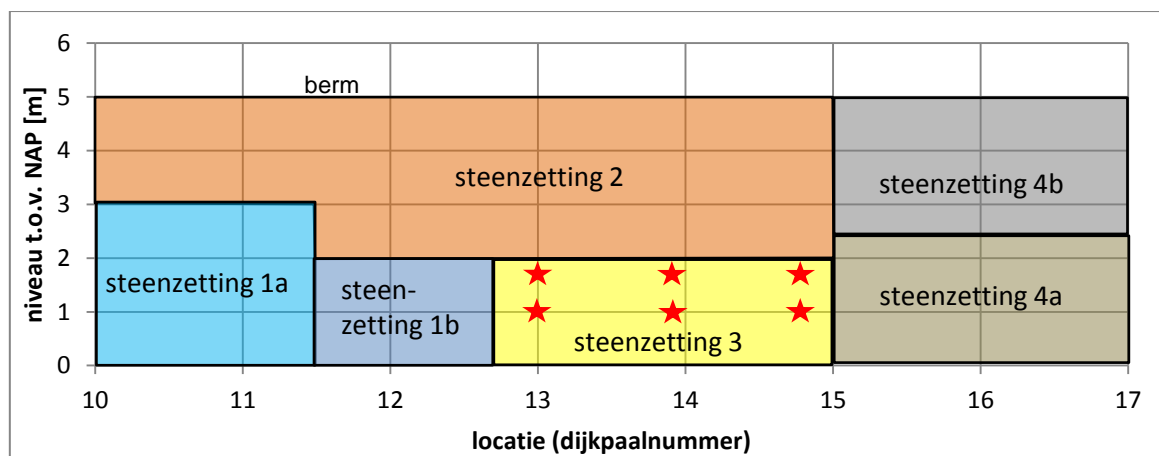
Deze steenzettingen zijn in het verleden ook al eens beoordeeld en daarom blijkt veel informatie in het archief al beschikbaar te zijn. Al deze gegevens blijken bij navraag voldoende betrouwbaar te zijn. Tabel 7.4 geeft een overzicht van de beschikbare data met in de 2<sup>e</sup> kolom de paragraaf waar nadere informatie over de parameter is te vinden.

**Tabel 7.4 Overzicht van alle parameters van de steenzettingen**

parameter	Par.	Steenzetting nr				
		1a	1b	2	3	4
Niveau bovenste overgangsconstructie [m+NAP]	6.5	3,00	2,00	5,00	2,00	5,00
Type bovenste overgangsconstructie	6.26	b1	b1	b1	b1	b1
Type toplaag	6.6	27,1	27,1	27,1	26,1	27,3
Type onderlagen	6.7	st ge kl	st ge kl	st ge kl	pu vl kk	st ge kl
Toplaagdikte [m]	6.8	0,35	0,35	0,40	?	0,40
Open oppervlak [%]	6.11	10	10	10	12	11
Karakteristieke opening [mm]	6.13	70	70	70	50	50
Dichtheid zetstenen [kg/m <sup>3</sup> ]	6.14	2365	2365	2365	2950	2315
D <sub>15</sub> inwasmateriaal [mm]	6.15	8	8	8	10	7
Dikte uitvullaag [m]	6.20	0,10	0,10	0,08	?	0,10-0,15
d <sub>15</sub> uitvullaag [mm]	6.20	17	17	19	?	18
Porositeit uitvullaag [-]	6.20	?	?	?	?	?
O <sub>90</sub> geotextiel [mm]	6.21	0,15	0,15	0,15	geen	0,15
Doorlatendheid geotextiel	6.21	?	?	?	geen	?
Vlijlagen	6.7	geen	geen	geen	?	geen
Kleilaagdikte [m]	6.22	0,75	0,75	0,70	> 3 m	0,85
Kwaliteit van de klei	6.24	g	g	g	g	g
Korrelgrootte zand (D <sub>250</sub> ) [mm]	6.25	0,20	0,20	0,20	geen	0,20

In de tabel zijn er ook parameters waar geen waarde voor beschikbaar is. Dat is bijvoorbeeld voor de porositeit van de uitvullaag en de doorlatendheid van het geotextiel. Deze waarden worden vooralsnog niet ingevuld in Steentoets, waardoor de beoordeling zal worden uitgevoerd met een conservatieve schatting voor deze ontbrekende waarden.

Verder is gebleken dat de uitvullaag van steenzetting 4 niet overal even dik is. Het blijkt dat onder NAP+2,40 m de dikte 15 cm is en daarboven 10 cm. Daardoor moet de hele steenzetting met de ongunstigste waarde berekend worden (dat is in dit geval een uitvullaagdikte van 15 cm), of het segment moet gesplitst worden. We kiezen hier voor het laatste. Daardoor wordt het vooraanzicht zoals in Figuur 7.4.



Figuur 7.4 Vooraanzicht van de steenzettingen op de dijk na opspitsing van steenzetting 1 en 4 (rode sterren: breeklocaties)

Tenslotte zijn de toplaagdikte en eigenschappen van de uitvullaag van steenzetting 3 nog onbekend. Dit betreft essentiële eigenschappen en moeten dus bepaald worden. Daarvoor wordt een meetcampagne uitgevoerd, zoals onderstaand is beschreven.

De wijze waarop de toplaagdikte en eigenschappen van het filter moeten worden bepaald is nader omschreven in paragraaf 6.8 en 6.20. Daar is te zien dat voor een toplaag van natuursteen, zoals basalt, de bekleding elke 100 à 200 m op twee niveaus moet worden opengeboren. Er wordt voor gekozen om dit te doen bij dp13,0, dp13,9 en dp14,8 op twee niveaus: NAP+1,0 m en NAP+1,8 m (zie rode sterren in Figuur 7.4). Op elke plaats wordt één

zuil uit de steenzetting gelicht en wordt de uitgenomen zuil en die daaromheen opgemeten. Tevens worden de filterlaagdikte en korrelgrootte bepaald met de methode uit paragraaf 6.20. De resultaten van de metingen staan in Tabel 7.5. Er is steeds een dubbele vlijlaag aangetroffen.

**Tabel 7.5 Resultaten van metingen bij het openbreken van de basalt bekleding (steenzetting 3)**

locatie	Zuilhoogte [cm]									Uitvullaag	
	1	2	3	4	5	6	7	8	gem.	Dikte [m]	d <sub>f15</sub> [mm]
dp13,0o	33	35	31	29	34	35	33		32,9	0,07	24
dp13,0b	32	30	36	33	33	31	34	35	33,0	0,08	26
dp13,9o	34	36	32	28	34	34	32	31	32,6	0,06	18
dp13,9b	29	35	32	32	33	31	37	34	32,9	0,05	29
dp14,8o	34	35	32	30	36	33	32		33,1	0,06	27
dp14,8b	35	34	37	39	33	35	36	33	35,3	0,06	22

Maatgevend is de kleinste gemiddelde zuilhoogte, de grootste dikte en korrelgrootte van de uitvullaag:

- topplagdikte: 32,6 cm.
- dikte uitvullaag: 0,08 m.
- korrelgrootte uitvullaag: 29 mm.

In Tabel 7.6 zijn de uiteindelijke waarden van de parameters gegeven waarmee de beoordeling in Steentoets kan worden uitgevoerd.

**Tabel 7.6 Waarden van de parameters waarmee de beoordeling in Steentoets kan worden uitgevoerd**

parameter	par.	Steenzetting nr.					
		1a	1b	2	3	4a	4b
Niveau bovenste overgangsconstructie [m+NAP]	6.5	3,00	2,00	5,00	2,00	5,00	5,00
Type bovenste overgangsconstructie	6.26	b1	b1	b1	b1	b1	b1
Type topplag	6.6	27,1	27,1	27,1	26,1	27,3	27,3
Type onderlagen	6.7	st ge kl	st ge kl	st ge kl	pu vl kk	st ge kl	st ge kl
Topplagdikte [m]	6.8	0,35	0,35	0,40	0,326	0,40	0,40
Open oppervlak [%]	6.11	10	10	10	12	11	11
Karakteristieke opening [mm]	6.13	70	70	70	50	50	50
Dichtheid zetstenen [kg/m <sup>3</sup> ]	6.14	2365	2365	2365	2950	2315	2315
D <sub>15</sub> inwasmateriaal [mm]	6.15	8	8	8	10	7	7
Dikte uitvullaag [m]	6.20	0,10	0,10	0,08	0,08	0,15	0,10
d <sub>f15</sub> uitvullaag [mm]	6.20	17	17	19	29	18	18
Porositeit uitvullaag [-]	6.20						
O <sub>90</sub> geotextiel [mm]	6.21	0,15	0,15	0,15	geen	0,15	0,15
Doorlatendheid geotextiel	6.21				geen		
Vlijlagen	6.7	geen	geen	geen	2	geen	geen
Kleilaagdikte [m]	6.22	0,75	0,75	0,70	> 3 m	0,85	0,85
Kwaliteit van de klei	6.24	g	g	g	g	g	g
Korrelgrootte zand (D <sub>50</sub> ) [mm]	6.25	0,20	0,20	0,20	geen	0,20	0,20

## 7.4

### Vakindeling

Voor de vakindeling is inzicht nodig in de hydraulische belastingen en de aanwezige steenzettingen. De hydraulische belastingen zijn gegeven in paragraaf 7.2 en die voor de steenzettingen in de vorige paragraaf. De methodiek voor het bepalen van de vakindeling is uitgelegd in hoofdstuk 4.

Op basis van de aanwezige steenzettingen en hydraulische belastingen worden de volgende vakken onderscheiden:

1. Van dp10,0 tot dp 11,5 met RVW 1 (want deze is de enige voor dit deel van de dijk).
2. Van dp11,5 tot dp12,8 met RVW 1 (want deze is zwaarder dan RVW2 volgens Tabel 7.3).
3. Van dp12,8 tot 15,0 met RVW 2 (want deze is zwaarder dan RVW3 volgens Tabel 7.3).
4. Van dp 15,0 tot dp17,0 met RVW 4 (want deze is de enige voor dit deel van de dijk).

Hiermee is alle informatie beschikbaar om de beoordeling met Steentoets uit te voeren. Voor elk vak wordt één dwarsdoorsnede met de verschillende steenzettingen in die dwarsdoorsnede beoordeeld. Omdat steenzetting 2 in drie vakken voorkomt, wordt deze drie keer van een oordeel voorzien. Het slechtste resultaat is maatgevend. Als alternatief mag steenzetting 2 ook gesplitst worden met steenzetting 2a in vak 1, steenzetting 2b in vak 2 en steenzetting 2c in vak 3. Maar dat is niet verplicht.

Als er een bekleding in het derde vak onvoldoende scoort, dan loont het de moeite om dit vak te splitsen in een vak van dp12,8 tot dp14,0 en een van dp14,0 tot dp15,0, omdat in dit laatste vak dan gerekend kan worden met RVW 3 (lagere belastingintensiteit).

## Verantwoording

Deze *Schematiseringshandleiding steenzetting* is in opdracht van Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving opgesteld door Deltares. Dit document is als onderdeel van het WBI 2017 besproken met keringbeheerders in de WBI-coördinatiegroep en beoordeeld door de ENW Voorbereidingsgroep WBI 2017.

### Schrijvers:

M. Klein Breteler (Deltares).  
G.C. Mourik (Deltares).

### Regie:

J. van der Hammen (RWS).  
K.S. Lam (Deltares).  
M.M. de Visser (Arcadis).

### Review:

R. 't Hart (Deltares).  
A. Labrujere (RWS).

### Eindredactie:

R. 't Hart (Deltares).  
A. Bizzarri (RWS).  
M. Hazelhoff (RWS).

### Eindcontrole:

R.M. Slomp (RWS).  
J.G. Knoeff (Deltares).  
M. Bottema (RWS).



## A Literatuur

- [1] *Documentatie Steentoets2015, Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen*. M. Klein Breteler, Deltares, rapport 1209832-006-HYE-0014, versie 15.1.5.1. Delft, maart 2016.
- [2] *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [3] *Handleiding datamanagement WBI 2017*. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [4] *Handleiding Steentoets2015, Excel-programma voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen*. M. Klein Breteler, Deltares, rapport 1209832-006-HYE-0009, 15.1.5.1. Delft, maart 2016.
- [5] Referentiewaarden waterstanden. Rijkswaterstaat.  
[https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Referentiewaarden%20waterstanden\\_tcm174-326696\\_tcm21-24223.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696_tcm21-24223.pdf), Rijkswaterstaat, 1985.
- [6] *Stabiliteit van steenzettingen bij golfaanval, Samenvatting onderzoeksresultaten 2003-2013*. Klein Breteler, M., G.C. Mourik en M.C.J. Bosters, Deltares, rapport 1208045-016-HYE-0007. Delft, januari 2014.
- [7] *Technisch Rapport Steenzettingen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. ISBN 90-369-5551-3. Delft, 2003.





## B Typen steenzettingen

De vermelde waarden zijn veilige default waarden.

Code	Omschrijving	Soortelijke massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Karakteristieke openingsgrootte [mm]	Zuilen	Blokken	Noorse steen	Asfalt
1	Asfaltbeton						x
2	Mastiek						x
3	Dicht steenasfalt						x
4	Open geprefabriceerde steenasfaltmatten						x
5	Open steenasfalt						x
6	Zandasfalt (tijdelijk of in onderlaag)						x
7	Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (vol en zat)						x
8	Baksteen/betonsteen, gepenetreerd met asfalt (vol en zat)						x
9	Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (patroonpenetratie)						
<b>10</b>	<b>Betonblokken met afgeschuinde hoeken of gaten erin</b>	2300	g		x		
<b>11</b>	<b>Betonblokken</b>						
11.x3	Betonblokken overlaagd met PBA; x = type, zie hieronder; alleen Beoordeling	2300	s		x		
11.0	Betonblokken zonder openingen	2300	s		x		
11.1	Haringmanblokken (uitsparing verdisconteerd in soortelijke massa)	2200	s		x		
11.2	Diaboolblokken	2300	s		x		
11.3	Plat gezette blokken met afstandhouders	2300	s		x		
11.4	Blokken op hun kant	2300	s		x		
11.5	Blokken op hun kant met afstandhouders	2300	s		x		
11.51	Blokken op hun kant met afstandhouders en ingegoten met gietasfalt	2300	n.v.t.		x		
11.6	Verkalit mgv	2300	20		x <sup>z</sup>		
11.7	Verkalit GOR	2300	20		x <sup>z</sup>		
<b>12</b>	<b>Open blokkenmatten, afgestrooid met granulair materiaal</b>	2300	g		x		
<b>13</b>	<b>Blokkenmatten zonder openingen</b>	2300	s		x		
14	Betonplaten van cementbeton of gesloten colloidaal beton, (in situ gestort)						
15	Colloidaal beton, (open structuur)						
16	Betonplaten, (prefab)						
<b>17</b>	<b>Doorgroeisteen, beton</b>	2300	n.v.t.		x		
18	Breuksteen, gepenetreerd met cementbeton of colloidaal beton, (vol en zat)						
19	Breuksteen, met patroonpenetratie van cementbeton of colloidaal beton						
20	Gras, gezaaid						
21	Gras, zoden of gezaaid, in kunstofmatten						
22	Bestorting van grof grind en andere granulaire materialen						
23	Grove granulaire materialen c.q. breuksteen verpakt in metaalgaas						

24	Fijne granulaire materialen c.q. zand/grind verpakt in geotextiel						
25	Breuksteen, (stortsteen)						
25.1	Breuksteenoverlaging, teenbestorting	2650					
<b>26</b>	<b>Basalt</b>						
26.x1	Basalt, gezet, ingegoten met gietasfalt; x = type, zie hieronder	2900	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
26.x2	Basalt, gezet, ingegoten met beton; x = type, zie hieronder	2900	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
26.0	Basalt, gezet	2900	70	x			
26.1	Basalt, waarbij op een apart terrein de slechte zuilen eruit gehaald zijn	2900	70	x			
<b>27</b>	<b>Betonzuilen</b>						
27.x1	Betonzuilen ingegoten met gietasfalt; x = type, zie hieronder	2300	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
27.x2	Betonzuilen ingegoten met beton; x = type, zie hieronder	2300	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
27.x9	Hergebruikte betonzuilen; x = type, zie hieronder	2300	70	x			
27.0	Betonzuilen zonder kanalen	2300	70	x			
27.1	Basalton en Basalton STS	2300	70	x			
27.2	PIT Polygoon zuilen	2300	50	x			
27.3	Hydroblock	2300	60	x			
27.4	Ronaton	2300	60	x			
27.5	C-Star	2300	60	x			
27.6	Hillblock	2300	50	x			
27.7	Basalton STS+	2300	40	x			
27.8	Ronataille	2300	30	x			
<b>28</b>	<b>Natuursteen</b>						
28.x1	Natuursteen, ingegoten met gietasfalt; x = type, zie hieronder	2500	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
28.x2	Natuursteen, ingegoten met beton; x = type, zie hieronder	2500	n.v.t.	x <sup>b</sup>			
28.0	Natuursteen, gezet	2500	70	x			
28.1	Vilvoordse	2500	70			x <sup>z</sup>	
28.2	Lessinische	2500	70			x <sup>z</sup>	
28.3	Doornikse	2600	70	x			
28.4	Petit graniet	2600	70	x			
28.5	Graniet	2600	70	x			
28.6	Noorse steen	2500	100			x <sup>z</sup>	
<b>29</b>	<b>Koperslabblokken</b>	2500	s		x		
30	Klei onder zand						
31	Bestorting van natuursteenmassa						
<b>32</b>	<b>Klinkers, beton of gebakken</b>	1900	s		x		
33	Zand						
34	Steenfundering, gebonden						
56	Kade, keermuur, kistdam						

x<sup>z</sup> : Hydraulische belastingen van zuilen gebruiken.

x<sup>b</sup> : Hydraulische belastingen van blokken gebruiken.

s: spleetbreedte

g: gatgrootte

## Onderlagen

Code	Omschrijving	porositeit
<b>st</b>	steenslag	0.35
<b>my</b>	mijnsteen (breed gegradeerd)	0.3
<b>ge</b>	geotextiel	nvt
<b>gr</b>	grind	0.35
<b>vl</b>	vlijlaag (mits het minstens 2 lagen zijn en in goede staat)	nvt
<b>sl</b>	slak	0.4
<b>pu</b>	puin	0.4
<b>kl</b>	klei	nvt
<b>as</b>	zandasfalt	nvt

De code moet in kleine letters ingevoerd worden.



## C Lijst van parameters

Parameters met betrekking tot geometrie en algemene aspecten:

Parameter	dimensie	Omschrijving	Default
Havendam?	-	Als er sprake is van een havendam (constructie met aan beide zijden water), dan moet hier ja ingevuld worden. Als er sprake is van een dijk (kruin is zo hoog dat er minder dan 20 l/s/m overslag plaatsvindt), dan kan de cel blanco blijven. Voor een lage dijk (bijvoorbeeld voor een inlaag) of een overslagbestendige dijk, vult men ja in als de kruin lager is dan $H_{m0}/2$ boven het de waterstand bij de norm. In geval van twijfel, vult men niets in, maar voert men wel de geometrie van de dijk in, zodat Steentoets zelf kan bepalen wat van toepassing is aan de hand van de hoogte van de constructie.	nee
Richting normaal op de dijk	°N	Richting van de lijn haaks op de dijk, gericht naar het water, ten opzichte van Noord (nautisch in graden). De dijkorientatie en golfrichting zijn gelijk bij loodrechte golfaanval.	Gelijk aan golfrichting
Niveau voorland ( $Z_{\text{voorland}}$ )	m+NAP	Hoogte van het voorland bij de teen van de dijk of buitenzijde van de havendam, ten opzichte van NAP.	Max(Niveau onderzijde onderste segment;0)
Helling voorland ( $\tan \alpha_{\text{bodern}}$ )	-	Gemiddelde helling van het voorland (vert. : hor.) over enkele tientallen meters voor de teen van de dijk/havendam.	1:100
Niveau onderzijde segment (onderste overgang) ( $Z_o$ )	m+NAP	Hoogte van de onderrand van dit deel van het talud. In geval van een steenzetting gaat het om het niveau van de onderste overgangsconstructie die grenst aan dit segment (niveau op taludoppervlak ten opzichte van NAP).	
Niveau bovenzijde segment (onderste overgang) ( $Z_b$ )	m+NAP	Hoogte van de bovenrand van dit deel van het talud. In geval van een steenzetting gaat het om het niveau van de bovenste overgangsconstructie die grenst aan dit segment (niveau op taludoppervlak ten opzichte van NAP).	
Taludhelling ( $\tan \alpha$ )	-	Helling van de betreffende steenzetting (tangens van de hellingshoek, ofwel verticaal : horizontaal). Voor het buitentalud is de helling positief en voor het binnentalud negatief.	
Segmentbreedte ( $B_{\text{segm}}$ )	m	Breedte van de bekledingsstrook. Deze hoeft alleen te worden opgegeven als het segment horizontaal is. Anders wordt de horizontaal gemeten segmentbreedte afgeleid uit de taludhelling in combinatie met het niveau van onder- en bovenzijde van het segment.	

Parameters met betrekking tot de toplaag van de steenzetting:

Parameter	dimen- sie	Omschrijving	Default
Type toplaag	-	Zie bijlage A	
Dikte toplaag (D)	m	Dikte van de toplaag. Als er een goede interactie is tussen de stenen mag de gemiddelde zuilhoogte van basalt of dikte van andere natuursteen ingevoerd worden. Bij Vilvoordse steen, Lessinische steen en Noorse steen moet de $D_{n50}$ ingevoerd worden.	
Breedte van zetsteen (B)	m	Breedte van de stenen (gemiddeld), gemeten langs het talud omhoog (haaks op de dijkas). Mag blanco blijven bij basalt en Basalton.	0,3 m
Lengte van zetsteen (L)	m	Lengte van de stenen (gemiddeld), gemeten evenwijdig aan de waterlijn (in de richting van de dijkas). Mag blanco blijven bij basalt en Basalton.	0,3 m
Gatgrootte in zetstenen	m <sup>2</sup>	Oppervlak van de gaten in de zetstenen (er kunnen drie verschillende afmetingen ingevoerd worden)	0
Spleetbreedte stootvoegen ( $s_s$ )	mm	Gemiddelde spleetbreedte van de spleten die langs het talud omhoog lopen. In geval van steenzetting met erg variërende spleten (zoals basalt) moet het relatieve open oppervlak ingevoerd worden. Deze cel moet dan blanco blijven.	$s_i$
Spleetbreedte langsvogen ( $s_i$ )	mm	Gemiddelde spleetbreedte van de spleten die evenwijdig aan de waterlijn lopen. In geval van steenzetting met erg variërende spleten (zoals basalt) moet het relatieve open oppervlak ingevoerd worden. Deze cel moet dan blanco blijven.	$s_s$
Aantal gaten in zetstenen	-	Aantal gaten per zetsteen een per gatoppervlak	0
Relatieve open oppervlak ( $\Omega$ )	%	Het relatieve open oppervlak is de verhouding tussen het oppervlak aan spleten (en gaten) en het totale zettingoppervlak (spleet- en gatoppervlak tezamen per vierkante meter). Of de spleten al dan niet zijn ingewassen met bijvoorbeeld steenslag is niet relevant. Het relatieve open oppervlak moet ingevuld worden als percentage. In geval van een zuilenzetting (basalt of beton) moet hier een waarde worden ingevoerd (eventuele invoer bij de spleetbreedtes wordt dan genegeerd).	
Karakteristieke openingen	m	Karakteristiek diameter van de relatief grote gaten in de zetting (gemiddelde van grootste gat per vierkante meter zetting). Dit wordt gebruikt voor de toets van het deelmecanisme materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG.	Zie bijlage A
Soortelijke massa van zetstenen ( $\rho_s$ )	kg/m <sup>3</sup>	Soortelijke massa, dichtheid, van het materiaal waar de zetsteen van gemaakt zijn	Zie bijlage A
Ingewassen?	-	Of de spleten (en gaten) in de toplaag zijn ingewassen met granulair materiaal, zoals steenslag. Vul ja in als de spleten gemiddeld voor ten minste de halve spleethoogte (of $\frac{3}{4}$ voethoogte bij Hillblocks) zijn ingewassen.	
Korrelgrootte inwasmateriaal ( $d_{15}$ )	mm	Korrelgrootte van het inwasmateriaal (granulair materiaal in de spleten en gaten), dat door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden.	5 mm
Geklemd?		Voor een goed ingewassen (dicht gezette) steenzetting geldt dat de interactie tussen de stenen goed is. Men spreekt dan van een goed geklemd zetting. De spleten moeten minstens voor de helft van de spleethoogte gevuld zijn met steenslag. Zand en slib dragen niet bij aan de klemming. Rechthoekige blokken zonder inwassing zijn niet goed geklemd	nee
Oneffenheden op havendam	m	De mate waarin stenen verzakt zijn en of stenen boven de omliggende stenen uitsteken. Dit is slechts relevant voor steenzettingen op de kruin en het binnentalud van een havendam. Het gaat om de hoogte van de grootste opstaande rand in de zetting, waartegen de golfoverslag kan aanstromen, gevormd door twee stenen in opeenvolgende rijen.	0
Ingietdiepte van ingegoten steenzettingen	m	De diepte tot waar de ingieting tussen de stenen is doorgedrongen. Men dient de gemiddelde penetratiediepte in de grotere openingen rondom een steen te meten. Dit doet men vervolgens op meerdere locaties, waarbij de kleinste waarde maatgevend is. Vul niets in als de toplaag niet is ingegoten.	0

Type bovenste overgang		Type bovenste overgangsconstructie (zie paragraaf 6.26)	a0, behalve de hoogstgelegen steenzetting: b0.
------------------------	--	---	---



Parameters met betrekking tot het granulaire filter en het geotextiel:

Parameter	Dimensie	Omschrijving	Default
Type onderlagen	-	Zie bijlage A	
Dikte geotextiel tussen topklaag en granulaire laag	m	Dikte van het geotextiel dat direct onder de topklaag ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	1 mm
Doorlatendheid geotextiel tussen topklaag en granulaire laag ( $q$ )	$l/s/m^2$	Specifiek debiet (filtersnelheid) door het geotextiel tijdens de doorlatendheidsmeting van het geotextiel dat direct onder de topklaag ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	10 $l/s/m^2$
Doorlatendheid geotextiel tussen topklaag en granulaire laag ( $h$ )	m	Verval over het geotextiel tijdens de doorlatendheidsmeting van het geotextiel dat direct onder de topklaag ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	0,1 m
Dikte filterklaag ( $b$ )	m	Dikte van de granulaire filterklaag (uitvullaag). Als er geen filterklaag (uitvullaag) is, dan moet deze cel blanco zijn of nul bevatten.	
$d_{f15}$ van granulaire laag	m	Korrelgrootte van de granulaire filterklaag (uitvullaag) waarvan 15 gewichtsprocenten kleiner is. Als er geen filterklaag (uitvullaag) is, dan mag deze cel blanco zijn.	
$d_{f50}$ van granulaire laag	m	Korrelgrootte van de granulaire filterklaag (uitvullaag) waarvan 50 gewichtsprocenten kleiner is. Als er geen filterklaag (uitvullaag) is, dan mag deze cel blanco zijn.	$1,2d_{f15}$
Porositeit van granulaire laag	-	Porositeit van de bovenste granulaire filterklaag (uitvullaag), gedefinieerd als de verhouding tussen het porienvolume en het totale volume.	Zie bijlage A
$O_{90}$ van geotextiel op ondergrond	m	$O_{90}$ van het geotextiel dat direct op de ondergrond van klei of zand ligt (maat voor de maaswijdte). Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	1 mm
Dikte van geotextiel op ondergrond ( $T_g$ )	m	Dikte van het geotextiel dat direct op de ondergrond van klei of zand ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	1 mm
Doorlatendheid van geotextiel op ondergrond ( $q_{geo}$ )	$l/s/m^2$	Specifiek debiet (filtersnelheid) door het geotextiel tijdens de doorlatendheidsmeting van het geotextiel dat direct op de ondergrond van klei of zand ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	10 $l/s/m^2$
Doorlatendheid van geotextiel op ondergrond ( $h_{geo}$ )	m	Verval over het geotextiel tijdens de doorlatendheidsmeting van het geotextiel dat direct op de ondergrond van klei of zand ligt. Raadpleeg hiervoor de leverancier. Als hier geen getextiel zit, dan moet deze cel blanco blijven.	0,1 m

Parameters met betrekking tot klei en zand:

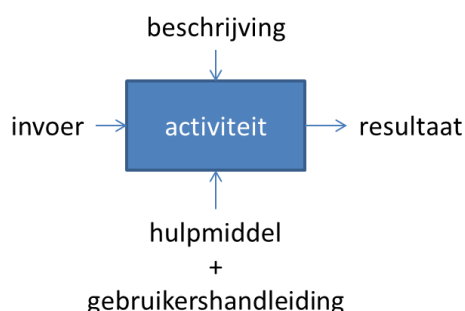
Parameter	Dimensie	Omschrijving	Default
Dijkopbouw		De dijkopbouw betreft de klei in de dijk onder de te beoordelen steenzetting (op de lijn haaks op het talud naar beneden): gk = geen klei, alleen zand kl = kleilaag tussen het zand van de dijk kern en de bekleding kk = kleikern (geen zand) zs = zandscheg (zand tussen de bekleding en een dieper gelegen kleilaag of kleikern)	gk, tenzij $b_{klei} > 0$ , want dan kl
Dikte kleilaag	m	Dikte van de kleilaag. Vul 3 m in als er een kleikern is.	
Kleikwaliteit		Erosiebestendigheid van de klei: g of c1 = goed m of c2 = matig w of c3 = weinig erosiebestendig Zie het Technisch Rapport Steenzettingen op blz. 189.	w
$d_{b15}$ zand	m	Korrelgrootte van het zand waarvan 15 gewichtsprocenten kleiner is.	$d_{b50}/1,4$
$d_{b50}$ zand	m	Korrelgrootte van het zand waarvan 50 gewichtsprocenten kleiner is.	als $d_{b15}$ niet blanco: $1,4 \cdot d_{b15}$ , anders 0,13 mm
$d_{b90}$ zand	m	Korrelgrootte van het zand waarvan 90 gewichtsprocenten kleiner is.	$1,2d_{b50}$

## D Schema werkwijze beoordeling steenzetting

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van het toetsspoor Stabiliteit steenzetting (ZST) weergegeven (Figuur D.2).

### D.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling

De werkwijze bestaat uit opvolgende activiteiten waarbij het resultaat van de voorgaande activiteit de invoer is van de volgende activiteit. Deze activiteiten moeten doorlopen worden om te komen tot een oordeel. Per activiteit kan worden beschreven hoe men van de invoer komt tot de benodigde uitvoer. Daarnaast wordt aangegeven of een activiteit door hulpmiddelen wordt ondersteund. Het schema van een activiteit ziet er in het algemeen uit zoals Figuur D.1.



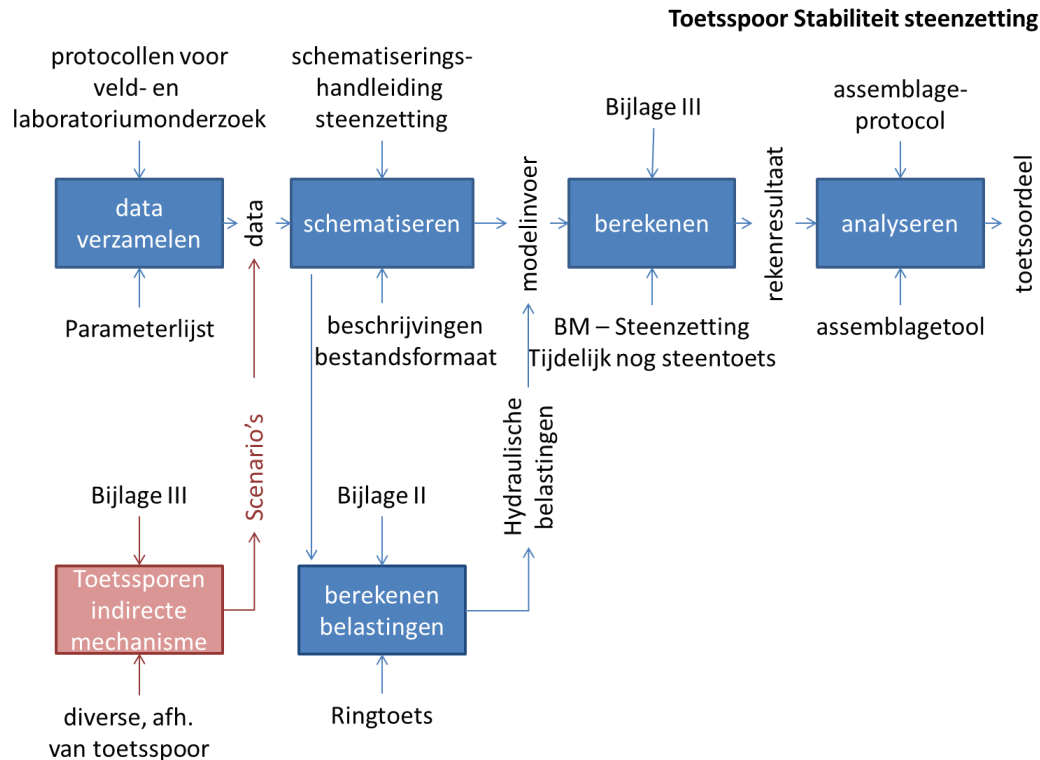
Figuur D.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

Het beoordelingsinstrumentarium bestaat uit verschillende documenten en tools/software om te komen tot een oordeel. In het schema is aangegeven welke (hoofd) documenten en tools/software betrekking hebben op een activiteit. Bij de activiteit wordt in de referenties na het schema gerefereerd naar de alle beschikbare documenten en/of tools/software behorende bij de activiteit. Op deze manier kan de beoordelaar bij elke activiteit achterhalen welke documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium relevant zijn om die activiteit uit te kunnen voeren. Er wordt in het schema niet uitsluitend verwezen naar documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium.

Benadrukt wordt dat dit schema niet het beoordelingsproces beschrijft. Het beoordelingsproces wordt beschreven in Bijlage I 'Procedure' van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Het beoordelingsproces is iteratief waarbij één of meerdere activiteiten uit het schema meerdere malen kan worden doorlopen. Afhankelijk van waar men zich bevindt in het beoordelingsproces, kan de invulling van de activiteit anders zijn. Bijvoorbeeld bij de activiteit 'berekenen' kan dit door middel van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of een toets op maat. Verder wordt benadrukt dat de beschrijvingen en hulpmiddelen niet uitputtend zijn. Niet alle invullingen van een activiteit zijn beschreven of worden ondersteund (denk hierbij aan toets op maat).

## D.2

### Schema werkwijze beoordeling Stabiliteit steenzetting (ZST)



Figuur 2 Schema werkwijze beoordeling Stabiliteit steenzetting (ZST). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven. Let bij dit toetsspoor op dat voor het berekenen van de belastingen mogelijk een schematisatie nodig is.

## D.3

### Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Stabiliteit steenzetting (ZST)

#### D.3.1

#### Activiteit 'data verzamelen'

##### Referenties beschrijving activiteit

- Voor de beschrijving van deze activiteit wordt verwezen naar de algemeen geaccepteerde en van toepassing zijnde protocollen, voorschriften en normen in de grond-, water- en wegebouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

##### Referenties hulpmiddel activiteit

- WBI-Parameterlijst (bijlage A uit Handleiding Datamanagement WBI 2017)*. K.S. Lam, Deltares-rapport 209432-002-GEO-0002, Delft, september 2016.

#### D.3.2

#### Activiteit 'schematiseren'

##### Referenties beschrijving activiteit

- Schematiseringshandleiding Steenzetting, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- Schematiseringshandleiding Hydraulische condities bij de dijkteen, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

##### Referenties hulpmiddel activiteit

- geen

#### D.3.3

#### Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

##### Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belastingen primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Waternormalen* ([www.rijkswaterstaat.nl/waternormalen](http://www.rijkswaterstaat.nl/waternormalen)). Rijkswaterstaat.

#### D.3.4

Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *BM – Steenzetting, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016. (Tijdelijk nog Steentoets)
- *Basis Module Steenzetting, Stand alone tool voor Stabiliteit steenzetting, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Basis Module Steenzetting, Stand alone tool voor Stabiliteit steenzetting, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

#### D.3.5

Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *Assemblageprotocol WBI2017, Nadere uitwerking van het beoogde assemblageprotocol voor het wettelijke beoordelingsinstrumentarium*. F. Diermans, K.S. Lam, H. Knoeff, Deltares rapport 1230086-010-GEO-0001, Delft, juni 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

#### D.3.6

Toelichting bij de referenties

Het softwareprogramma Ringtoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringtoets meerdere malen genoemd bij de referenties.

De bestandsformaten behorende tot een software of tool zijn beschreven in de handleiding van de betreffende software of tool.