



Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde Delft

archief Asfalt in de Waterbouw

A-2

DWD

96

# Structuur in eisen voor loskorrelige steenmaterialen in de waterbouw

## Beschrijving van de systematiek en de betrokken parameters



**Structuur in eisen voor loskorrelige  
steenmaterialen in de waterbouw**

Beschrijving van de systematiek en de  
betrokken parameters

Rapport : P-DWW-96-056  
Datum : juni 1996

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

"De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat (DWW) heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Rapport nr.: P-DWW-96-056 (ISBN 90-369-3716-7)	Serie nr.:	Ontvanger catalogus nummer:	
Titel en subtitel: Structuur in eisen voor loskorrelige steenmaterialen in de waterbouw. Beschrijving van de systematiek en de betrokken parameters.		Datum rapport: juni 1996	Kode uitvoerende organisatie:
		Nr. rapport uitvoerende organisatie:	
Schrijvers: G.J. Laan, E. Berendsen, G.J.C.M. Hoffmans		Projekt naam:	
		Kontraktnummer:	
Naam en adres opdrachtnemer: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA DELFT		Type rapport:	
		Kode andere opdrachtgever:	
Naam en adres opdrachtgever: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Hoofddirectie van de Waterstaat Postbus 20906 2500 EX 's-GRAVENHAGE			
Opmerkingen:			
<p>Referaat:</p> <p>"Structuur in eisen" is de aanduiding voor een methodische analyse van constructies ten aanzien van te vervullen eisen. In de analyse worden de relevante constructieve aspecten onderscheiden, benoemd en volgens een zekere systematiek met elkaar in verband gebracht. Hierbij worden eisen op diverse niveaus onderscheiden, randvoorwaarden en werkzame principe, uitgedrukt in modellen. De diversen eisenniveaus betreffende de aard van toe te passen materialen, relevante gedragingen daarvan, gedrag van de constructie, te vervullen functies en gebruikerseisen.</p> <p>In dit rapport wordt de systematiek verklaard ten behoeve van de toepassing van loskorrelige steenmaterialen in de waterbouw.</p>			
Trefwoorden: Steenmaterialen, functies, eigenschappen, eisen		Distributiesysteem: Dienst Weg- en Waterbouwkunde, tel 015-2699273	
Classificatie:	Classificatie deze pagina:	Aantal blz.: 27 blz	Prijs: f 20,-

Inhoud	blz.	
1	Inleiding	3
2	Probleemstelling	3
3	Doelstellingen	4
4	Constructies en constructie-onderdelen	5
5	Structuur in eisen	7
5.1	Algemeen	7
5.2	Hiërarchie in eisen	7
5.3	Randvoorwaarden	12
	5.3.1 Algemeen	12
	5.3.2 Omgevingsrandvoorwaarden	12
	5.3.3 Constructieve randvoorwaarden	14
	5.3.4 Beleidsrandvoorwaarden	14
5.4	Interacties	14
5.5	Een voorbeeld	15
6	Variabiliteit en fouten	16
6.1	Algemeen	16
6.2	Nauwkeurigheid van ontwerpmodellen	16
6.3	Nauwkeurigheid bij keuren	17
7	Toepasbaarheid van structuur in eisen	18
Bijlage A	Definities	19
Bijlage B	Beschouwing en beproeving van eigenschappen	21
	B.1 Aardeigenschappen	
	B.2 Elementaire gedragseigenschappen	
Literatuur		26

## 1. Inleiding

"Structuur in eisen" is de aanduiding voor een methodische analyse van constructies ten aanzien van te vervullen eisen. In de analyse worden de relevante constructieve aspecten onderscheiden, benoemd en volgens een zekere systematiek met elkaar in verband gebracht. Hierbij worden eisen op diverse niveaus onderscheiden, randvoorwaarden en werkzame principes, uitgedrukt in modellen. De diverse eisenniveaus betreffen de aard van toe te passen materialen, relevante gedragingen daarvan, gedrag van de constructie, te vervullen functies en gebruikerseisen.

Eerder is deze analyse-methode toegepast voor onder andere asfalt [5] en wegfunderingen [6].

In dit rapport wordt de systematiek uitgewerkt ten behoeve van de toepassing van loskorrelige steenmaterialen in de waterbouw. Daarbij worden relevante materiaaleigenschappen benoemd en kort beschouwd. De aanleiding hiertoe was met name de behoefte om de ontwerpleer voor filters van loskorrelig steenmateriaal te analyseren op gebrekkigheden en op grond daarvan een onderzoeksprogramma op te stellen.

Dit rapport geeft slechts algemene informatie over "structuur in eisen" voor loskorrelige materialen in de waterbouw. Er wordt daarmee nog geen daadwerkelijke analyse van een constructie of onderdeel daarvan uitgevoerd.

Na een algemene probleemstelling (hoofdstuk 2) worden de doelstellingen, die met een analyse volgens "structuur in eisen" nagestreefd (kunnen) worden kort aangegeven (hoofdstuk 3). Na het schematisch aangeven van constructies, waarin loskorrelige steenmaterialen worden toegepast (hoofdstuk 4) volgt een beschrijving van "structuur in eisen" (hoofdstuk 5). De elementen die in deze structuur een rol spelen worden genoemd en gedefinieerd. Vervolgens worden de aspecten genoemd die bij de analyse volgens structuur in eisen de nauwkeurigheid bepalen (hoofdstuk 6). Tenslotte wordt in aanvulling op de doelstellingen zoals in hoofdstuk 3 zijn beschreven, de toepasbaarheid van de analysemethode nader belicht (hoofdstuk 7).

Dit rapport is bedoeld voor allen die op het gebied van loskorrelige materialen in de waterbouw te maken hebben met ontwikkelingswerk. Dit ontwikkelingswerk kan onderzoek betreffen, regelgeving op de gebieden van kwaliteit en kwaliteitszorg, en nieuwe toepassingen van loskorrelige materialen. Bij genoemde werkzaamheden is steeds analyse van de samenhang tussen allerhande verschijnselen en aspecten aan de orde, waarvoor dit rapport een raamwerk geeft.

## 2. Probleemstelling

Op waterbouwkundig gebied vinden snelle ontwikkelingen plaats op het gebied van ontwerp, uitvoering en onderhoud. Deze ontwikkelingen betreffen een toenemende rol van wetenschappelijke analyse, een introductie van zoveel mogelijk geobjectiveerde kwaliteitszorg, ontwikkeling van nieuwe materialen en uitvoeringswijzen, en verschuiving van verantwoordelijkheden bij uitvoering van de opdrachtgever naar de opdrachtnemer. Bij dit alles zijn veel belanghebbende partijen en vakdisciplines betrokken. Dit leidt tot het gevaar, dat vanuit specifieke betrokkenheid te eenzijdig ontwikkeling gegeven wordt aan ontwerp, uitvoering en onderhoud. Met name blijkt dit waar onderzoekers op ontwerp-constructief gebied veelal te sterk de materiaalaspecten reduceren tot enkele geabstraheerde parameters en te weinig oog hebben voor concrete materiële verwezenlijking van een ontwerp. Vertaling van deze materiaalparameters in concrete materiaalkundige bestekseisen kan hierdoor bijvoorbeeld gebrekkig plaatsvinden of tot lastig produceerbare sorteringen leiden. Omgekeerd onderkennen materiaalspecialisten veelal te weinig de constructieve implicaties van allerlei materiaalkundige aspecten, zodat bij bewustwording daarvan, termen als "functionele eisen" kunnen ontstaan.

Deze kort aangegeven te eenzijdige invalshoeken zijn exemplarisch en gelden ook met betrekking tot andere disciplines.

Verschillen in implementatie van de snelle ontwikkelingen op waterbouwkundig gebied hebben ook geleid tot verschillen in manier van aanpak van problemen: een streng wetenschappelijke probleembehandeling bestaat naast een nog ambachtelijke, ervaringsgewijze benadering.

De hiervoor kort aangeduide gefragmenteerde betrokkenheden op waterbouwkundige constructies vragen om een gemeenschappelijk referentiekader. Dit kader wordt in dit rapport onder de naam "structuur in eisen" beschreven voor waterbouwkundige constructies of constructieonderdelen bestaande uit loskorrelige steenmaterialen.

### **3. Doelstellingen**

"Structuur in eisen" is een systematiek, waarmee alle relevante bouwkundige aspecten van een constructie of constructie-onderdeel met elkaar in verband worden gebracht. Doelstellingen die met een analyse volgens "structuur in eisen" kunnen gelden volgen uit deze definitie en worden hierna genoemd en toegelicht.

Mogelijke doelstellingen:

1. Afleiding van eisen
2. Nagaan van onderzoekbehoefte
3. Hulpmiddel bij de ontwikkeling van nieuwe bouwmaterialen en constructie-elementen
4. Hulpmiddel bij kwaliteitszorg
5. Afbakening van verantwoordelijkheden bij de uitvoering van werken.

#### **ad. 1**

De systematiek "Structuur in eisen" ontleent zijn naam aan een regelgevingsdoelstelling. Regels, in de betekenis van eisen, hebben de doelstelling om beïnvloedbare factoren binnen zekere limieten te begrenzen opdat gebruiksdoelen van een constructie verzekerd worden. Studie van de samenhang van genoemde factoren leidt tot deze limiet- of eisstelling. Voor zover reeds algemene eisen bestaan worden de juistheid en volledigheid daarmee geverifieerd.

#### **ad. 2**

Een analyse van de aspecten die bij een constructie ontwerp-kundig een rol spelen en het kritisch beoordelen van de samenhang tussen deze aspecten leidt tot conclusies omtrent kennisleemten inclusief de mate van belang daarvan.

Op grond daarvan kunnen onderzoeksdoelen geformuleerd worden.

#### **ad. 3**

In toenemende mate verschijnen nieuwe bouwmaterialen en constructie-elementen op de bouwmarkt voor waterbouwkundige constructies. Voor ontwikkeling van deze bouwmaterialen, zowel als de toetsing van de bruikbaarheid van nieuw aangeboden materialen, is een gedetailleerde en gestructureerde analyse noodzakelijk. "Structuur in eisen" biedt hiertoe een kader.

Het is verrassend te constateren, dat nog steeds in de waterbouw een ambachtelijke oftewel praktische ervaringsbenadering van nieuwe ontwikkelingen opgeld doet. Deze "trial and error" methode kost teveel tijd en geld, en brengt teveel risico's mee.

#### **ad. 4**

Bij de analyse van de beïnvloedbare factoren in een ontwerp is de variabiliteit van eigenschappen aan de orde en hoe deze begrensd kunnen worden. Dit laatste, het begrenzen van variabelen binnen zekere grenzen, is een primair doel van kwaliteitszorg. Een analyse volgens "structuur in eisen" kan hier specifiek op gericht worden.

#### ad. 5

In kwaliteitszorg en het dragen van verantwoordelijkheid voor kwaliteit kunnen diverse partijen een rol spelen: de opdrachtgever, de opdrachtnemer c.q. aannemer, de onderaannemer, waaronder de producent van bouwmaterialen, en een afhankelijke partij. Bij de huidige toenemende aandacht voor kwaliteitssystematiek geldt gelijktijdig een verschuiving van verantwoordelijkheden van de opdrachtgever naar de opdrachtnemer. Dit heeft gevolgen voor eisen zoals in bestekken worden verwoord of van kracht gesteld worden. Onder andere leidt dit tot het in mindere mate voorschrijven in bestekken van de wijze van uitvoering. Tevens kan dit een verschuiving inhouden van het niveau waarop bestekseisen geformuleerd worden:

van eisen voor de aard en het gedrag van materialen naar eisen voor het constructieve gedrag (prestatie-bestek), of, verdergaand, van constructieve gedragseisen naar functie-eisen. Op deze eiseniveaus anticipeert "Structuur in eisen" en kan daarmee benut worden voor het afbakenen van genoemde verantwoordelijkheden.

Uit de genoemde doelstellingen van "Structuur in eisen" blijkt een gerichtheid op ontwerp en uitvoering. Dit kan niet alleen een nieuwe constructie betreffen, maar ook onderhoud, renovatie en hergebruik van materialen en bouwelementen uit een te slopen constructie (zie ook hoofdstuk 7).

#### 4. Constructies en constructie-onderdelen

Waterbouwkundige constructies waarin loskorrelige steenmaterialen worden toegepast kunnen in vijf hoofdgroepen worden onderverdeeld (zie ook figuur 1):

- waterkeringen: zee-, rivier, meer- en bekkendijken;
- oeverbeschermingen;
- bodemverdedigingen;
- golfbrekers en havendammen;
- aanvullingen en ophogingen zoals landaanwinning en kunstmatige eilanden.

In de verschillende waterbouwkundige constructies kunnen de volgende naar functies onderscheiden hoofdconstructie-onderdelen worden benoemd waarin loskorrelige steenmaterialen kunnen worden toegepast (voor definities zie bijlage A):

- toplaag;
- filterlaag;
- kern;
- aanvulling, ophoging;
- hulpkade;
- fundatielaag.

Bij beschouwing van een constructie-onderdeel, bestaand uit een loskorrelig steenmateriaal, is studie van de interacties met aangrenzende andere constructie-onderdelen van belang. Dit geldt niet alleen voor aangrenzende lagen, maar in bijzonder ook voor overgangen in het vlak van de beschouwde laag. Deze overgangen, inclusief daarbij toegepaste overgangsconstructies, zijn in de praktijk veelal kwetsbare onderdelen gebleken.

Bij beschouwen van een constructie-onderdeel van loskorrelig steenmateriaal kunnen, in verband met het hiervoor gestelde, allerlei andere aangrenzende materialen betrokken zijn: geotextiel, geomembraan, beton(blokken), staal(damwand), grondverbetering etc.

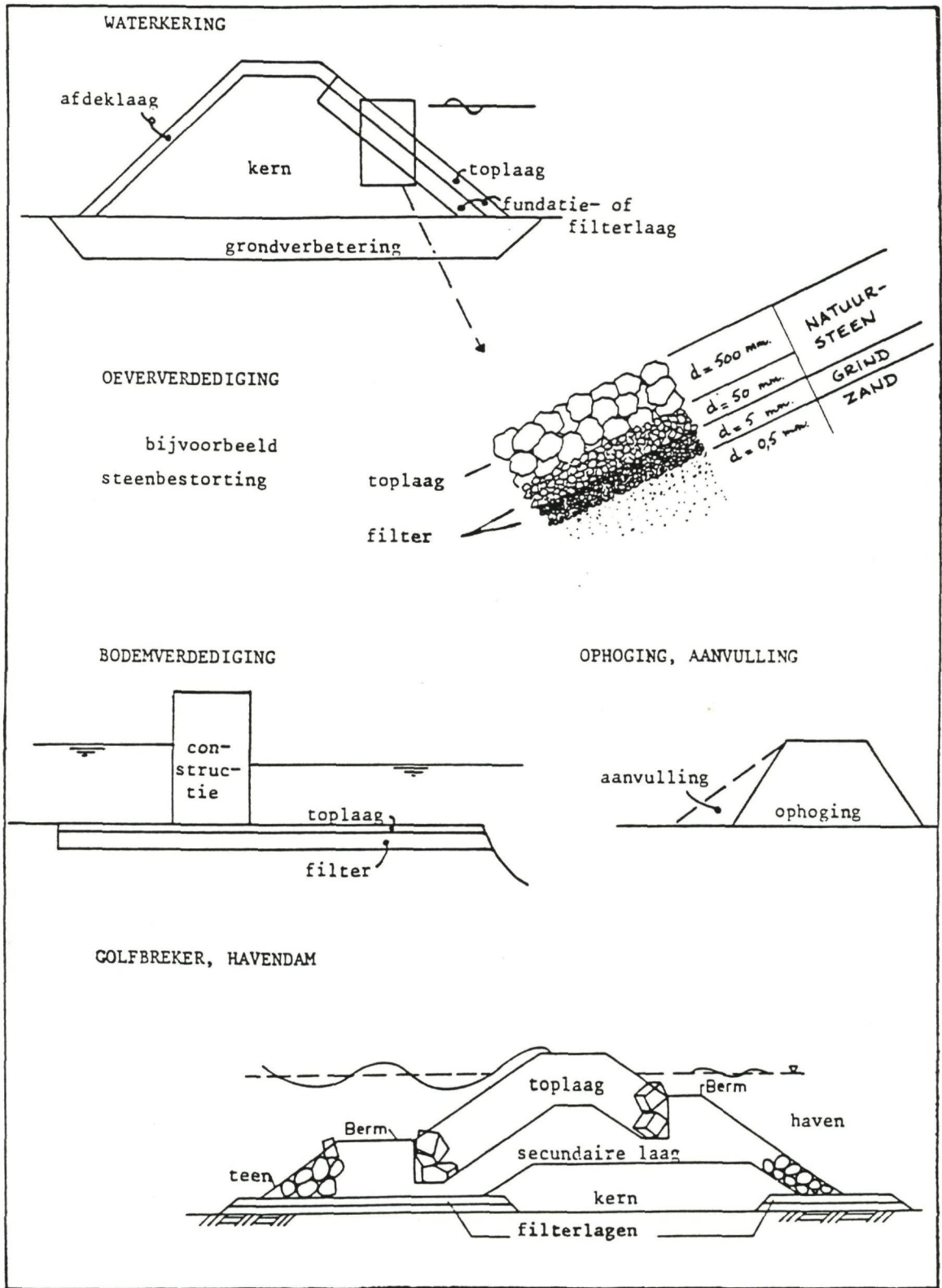


Fig. 1 Doorsneden van constructies met hoofdconstructieonderdelen.



## 5. Structuur in eisen

### 5.1 Algemeen

In de analyse volgens "structuur in eisen" komen in hoofdlijnen de volgende elementen voor: hiërarchisch gelede eisen, randvoorwaarden en interacties tussen eigenschappen en aspecten op de diverse eisenniveaus, uitgedrukt in modellen (figuur 2). De hiërarchie in de eisen betreft een volgorde van soorten en gedetailleerdheid in eisen zoals bij het ontwerpen van een constructie achtereenvolgens geformuleerd en afgeleid dienen te worden, te beginnen met "gebruikerseisen". De randvoorwaarden komen voort uit beleid en de omgeving waarin de constructie aangelegd moet worden. Zij omvatten onder andere de belastingen op de constructie.

De modellen geven relaties tussen de eigenschappen op de diverse niveaus waar de eisen betrekking op hebben en de randvoorwaarden.

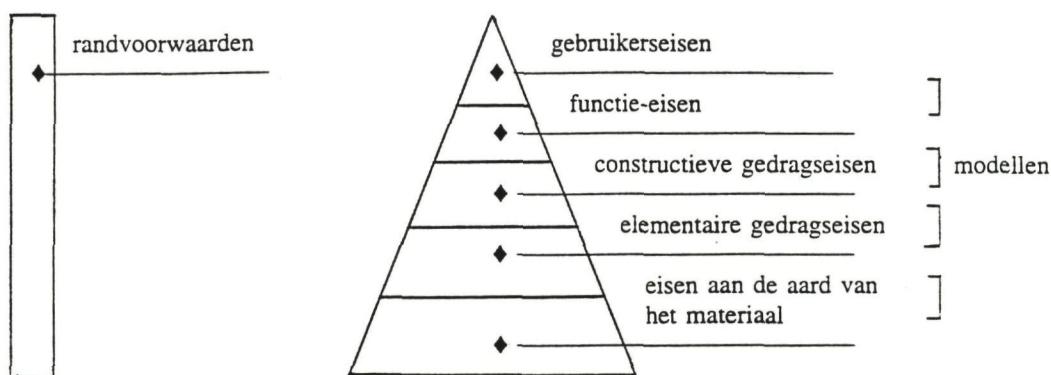
De elementen van "structuur in eisen" worden in de hierna volgende sub-hoofdstukken behandeld.

### 5.2 Hiërarchie in eisen

De kern van het kennissysteem "structuur in eisen voor waterbouwkundige constructies" bestaat uit een hiërarchisch geleding in eisen. De geleding betreft groepsgewijs onderscheid in soorten eisen. Deze soorten staan in hiërarchisch verband tot elkaar, omdat de ene soort eisen afgeleid kan worden oftewel volgt uit de andere groep eisen en gestelde randvoorwaarden.

Deze hiërarchische geleding wordt de "piramide van eisen" genoemd.

Van boven naar beneden treffen we in de piramide de volgende eisen-geledingen aan: gebruikerseisen, functie-eisen, constructieve gedragseisen, elementaire gedragseisen en eisen aan de aard van het materiaal (zie figuur 2).



Figuur 2. Structuur in eisen

Gebruikerseisen zijn eisen die de uiteindelijke gebruiker stelt aan de constructie en hebben in het algemeen een abstract karakter. De gebruikerseisen worden veelal algemeen beleidsmatig verwoord.

Gebruikerseisen betreffen:

- veiligheid;
- esthetica;
- kosten;
- milieubelasting;
- ecologie;
- recreatie en andere vormen van medegebruik.

Gebruikerseisen hebben veelal betrekking op de hele constructie. De meeste gebruikerseisen hebben direct danwel indirect betekenis voor alle constructie-onderdelen. Zo geldt dat veiligheid afhankelijk is van de meeste, zo niet alle constructie-onderdelen. Milieubelasting wordt door alle met neerslag en oppervlakte- of grondwater in aanraking komende onderdelen bepaald.

Beleidsmatig verwoorde gebruikerseisen zijn veelal van een zodanig algemeen en abstract karakter, dat variabiliteit in voldoen aan deze eisen naar tijd en zeker naar plaats (binnen een constructie) niet of slechts indirect en indicatief aangegeven worden. Voor een afleiding van concrete functie-eisen uit de gebruikerseisen dient dan ook creatieve arbeid verricht te worden en eventuele terugkoppeling naar de beleidsmakers. De vereiste duurzaamheid bijvoorbeeld van een te maken constructie (zie Functie-eisen) kan veelal min of meer afgeleid worden uit beleidsdoelstellingen met betrekking tot onder andere veiligheid, duurzaam bouwen en investeringspolitiek.

Functie-eisen zijn op het niveau van functies van een waterbouwkundige constructie of onderdeel daarvan gesteld. Het gaat hier om welke prestaties geleverd moeten worden zonder nog enige constructieve of materiaalkundige invulling te betrekken.

Functie-eisen hebben betrekking op:

- beschermen tegen overstroming;
- erosie tegengaan;
- beschutting tegen golven;
- geleiding van stroming;
- beheersing van waterdiepte;
- geschiktheid voor (gespecificeerde) recreatieve activiteiten;
- diverse aspecten met betrekking tot flora en fauna;
- duurzaamheid;
- emissie naar water en bodem;
- esthetische aspecten (vormgeving, kleur);
- herbruikbaarheid materialen;
- nautische aspecten.

Functie-eisen zijn gekoppeld aan een te stellen levensduur van een constructie, rekening houdend met de rol, die onderhoud daarbij zal spelen.

Functie-eisen dienen ten opzichte van gebruikerseisen concreet en toetsbaar te zijn. Sommige aspecten kunnen direct bij het gereedkomen van een constructie beoordeeld worden op voldoen aan gestelde functie-eisen. Tijdsafhankelijke factoren maken dit veelal onmogelijk, zodat het voldoen aan desbetreffende functie-eisen uit modellering afgeleid moet worden. Deze tijdsafhankelijke factoren betreffen belastingen zoals bepalende extreme waterstanden en golfwerkingen, en de materiaaltechnische duurzaamheid.

Functie-eisen houden per definitie geen rekening met toevallige variabiliteit in randvoorwaarden en in eigenschappen binnen een constructie, omdat dit onder andere afhankelijk is van de constructieve invulling (constructief ontwerp inclusief de daarop betrekking hebbende constructieve gedrageisen-zie hierna). Anderzijds dient bij toetsing op het voldoen aan functie-eisen hiermee via modellering wel rekening gehouden te worden. Als eenvoudig voorbeeld geldt, dat een sterke variabiliteit van de steenzwaarte in een toplaag bij overal geldende gelijke belastingen tot een lokaal fataal bezwijken kan leiden, waarmee aan de veiligheidseis van "de" constructie niet voldaan wordt.

Constructieve gedrageisen hebben betrekking op het gedrag van de totale constructie of een onderdeel daarvan. Op grond van deze eisen kan een constructief ontwerp inclusief daarbij betrokken materiaalkeuzen getoetst worden.

Voor loskorrelige steenmaterialen in waterbouwkundige constructies kunnen de volgende gedragsaspecten genoemd worden waarop constructieve eisen van toepassing zijn:

- totaal-stabiliteit;
- lokale stabiliteit met het oog op bijvoorbeeld piping, lokale ontgronding, micro-instabiliteit ten gevolge van uittredend grondwater;
- stabiliteit van afsluitende lagen (naast een constructie of in een constructie in de bouw- of gebruiksfase);
- stabiliteit onder golfbelasting;
- stabiliteit onder stromingsbelasting;
- interne (filter)stabiliteit;
- filterdichtheid;
- waterdoorlatendheid;
- duurzaamheid;
- uitloggedrag;
- verkleuring van steenmateriaal;
- begaanbaarheid voor dieren;
- begaanbaarheid voor mensen;
- ontwikkeling van begroeiing;
- ontwikkeling van dierlijk leven;
- doorgroeiing.

De rol die tijd speelt bij de eisen aan het constructieve gedrag is bij de hiervoor genoemde functie-eisen al kort aangegeven. Om diverse redenen is daarbij het onderscheid in een initiële of potentiële gedragsprestatie en een duurzaamheidsafhankelijk gedrag van belang. In de potentiële gedragsprestatie zijn tijdsafhankelijke belastingen en omgevingsfactoren betrokken.

Duurzaamheid betreft de mate van weerstand tegen degradatie van materialen gemeten naar tijd. Het genoemde belang betreft bijvoorbeeld onderhoudsstrategie en beleid ten aanzien van marginale materialen waarbij de twee tijdsafhankelijke aspecten een onderscheiden betekenis hebben. Zo kan bijvoorbeeld op grond van investeringsbeleid gekozen worden voor een zeer duurzame constructie met weinig onderhoudskosten. Er hoeft dan bij dimensionering weinig rekening gehouden te worden met afnemende prestatiekenmerken tengevolge van degradatie. Het tegendeel is het geval bij het gebruik maken van materialen die een marginale duurzaamheid in de toepassingsomstandigheden bezitten. Dit gebruik kan gebaseerd zijn op kostenoverwegingen, omdat bijvoorbeeld lokaal geen duurzamer materialen aanwezig zijn en hoge transportkosten voor aanvoer nodig zouden zijn. Ook toepassing van secundaire materialen bijvoorbeeld op grond van het beleid met betrekking tot "duurzaam bouwen" zou tot een minder duurzame oplossing kunnen leiden. Door over-dimensionering kan dan de initiële gedragsprestatie van een constructie afgestemd worden op de gebrekkige duurzaamheid en een aanvaardbaar geachte onderhoudsfrequentie.

Het constructieve gedrag van een constructie(onderdeel) van loskorrelig materiaal is variabel naar plaats voorzover gerelateerde belastingen en materiaalkenmerken variabel zijn.

Naar aard van het (loskorrelig) materiaal geldt dit zeker ten aanzien van materiaalkenmerken, omdat elk steenstuk naar grootte bijvoorbeeld uniek is. Daarmee komt ook naar gedrag per steenstuk en naar (deel)partij variabiliteit voor.

Bij toetsing aan eisen via modellering en beproeving kan aan deze variabiliteit niet voorbij gegaan worden. Dit geldt in het bijzonder voor loskorrelige steenmaterialen voor waterbouwkundige constructies vanwege de relatieve grootte van de afzonderlijke steenstukken. Hierdoor zijn in veel sterkere mate dan bij fijnkorrelige materialen constructief gedrag en beproevingsmogelijkheden van elementair gedrag van individuele steenstukken afhankelijk, respectievelijk daarop gericht.

Het toevallig of door ontmenging in een constructie geconcentreerd voorkomen bijvoorbeeld van relatief fijne steenstukken kan bepalend zijn voor lokaal bezwijken. Uitsluitend bulkbeschouwing van steenmaterialen voor de waterbouw zou in velerlei opzicht tekort schieten. Een korrel- of massaverdeling geeft immers als zodanig geen informatie over het toevallig geconcentreerd voorkomen van steenstukken van zekere grootte. Deze variabiliteit is ook van belang bij andere

eigenschappen zoals onbestendigheid door zonnebrand of dichtheid van minder homogeen materiaal.

Elementaire materiaalgedragseisen hebben betrekking op proeftechnische gedragingen van een representatieve kleine hoeveelheid materiaal. Het woord "elementair" heeft betrekking op de kleinste hoeveelheid materiaal waarop de gedragseigenschap nog betrekking kan hebben. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de minimale hoeveelheid materiaal, die in een proef om proeftechnische redenen vereist is en soms door de mogelijke variabiliteit van een eigenschap binnen een partij materiaal. Veelal wordt in een proef het gedrag van een proefstuk, bereid uit een enkel steenstuk, bepaald. Door meerdere steenstukken te beproeven wordt een voldoende nauwkeurig beeld van een te beoordelen partij verkregen om daar een eis aan te kunnen verbinden.

Het elementaire gedrag wordt soms bepaald door een relatief grote hoeveelheid materiaal in een proef te betrekken. Dit is veelal het geval wanneer de beschouwde eigenschap afhankelijk is van de volledige korrel- of massaverdeling. De hoeveelheid materiaal wordt dan bepaald door de voorwaarde dat elke korrel- of steengrootte in het eventueel verschaalde proefmateriaal gerepresenteerd is en door proeftechnische omstandigheden, bijvoorbeeld in een golfgoet.

In een proef ter bepaling van een elementaire gedragseigenschap, is het gedrag afhankelijk van allerhande opgelegde condities (zie 5.3), die gewoonlijk afwijken van de veelheid aan randvoorwaarden en aardaspecten van het materiaal (zie hierna) die praktisch in constructies voor kunnen komen.

Elementaire gedragseisen en de hierna behandelde eisen aan de aard van het materiaal betreffende eigenschappen, die op een gedetailleerd uitgewerkt eisenniveau van de piramide als het ware algemeen toepasbare "bouwstenen" bij het ontwerpen zijn. Deze eigenschappen worden in principe met proeven bepaald. Zowel de brede toepasbaarheid als de mede daarvoor vereiste eenduidige betekenis van de eigenschappen vereisen precies gedefinieerde uniforme proefcondities en vermindering van vrijheden bij de uitvoering van de proeven. Voor vele eigenschappen bestaan helaas nog allerhande proefmethoden die tot verschillen in resultaten leiden. Het is dan ook een vereiste om bij eisen of proefresultaten altijd te verwijzen naar de desbetreffende liefst genormaliseerde methode.

De volgende relevante elementaire gedragingen kunnen worden onderscheiden:

- weerstand tegen golfbelasting;
- weerstand tegen stroming;
- waterdoorlatendheid;
- hoek van inwendige wrijving;
- ontmengingsgevoeligheid;
- doseerbaarheid;
- bloksterkte;
- weerstand tegen breuk;
- weerstand tegen slijtage;
- weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen;
- weerstand tegen zoutkristallisatie;
- uitlooggedrag;
- onbestendigheid door zonnebrand;
- overige onbestendigheidsverschijnselen;
- vrije kalk onbestendigheid van staalslakken;
- verkitting;
- kalkonbestendigheid van hoogovenslakken;
- ijzeronbestendigheid van hoogovenslakken.

In bijlagen A en B zijn de genoemde elementaire gedragseigenschappen nader gedefinieerd en beschouwd.

Eisen aan de aard van het materiaal hebben betrekking op chemisch/mineralogisch, fysische en morfologische aspecten zonder enige gedragsimplicatie.

De volgende aardaspecten worden onderscheiden:

- dichtheid van de vaste stof <sup>1)</sup>;
- dichtheid van steenstukken;
- bulkdichtheid;
- poriëngehalte<sup>1)</sup>;
- holle ruimte<sup>1)</sup>;
- korrelgrootteverdeling;
- massaverdeling;
- lengte-tot-dikte verhouding;
- rondheid;
- textuur;
- vochtgehalte;
- kleur;
- samenstelling;
- vreemde bestanddelen;
- oppervlaktereontreiniging.

1) Op deze aspecten zijn gewoonlijk geen eisen gericht. Het noemen van deze hoedanigheden is van belang vanwege de vele interacties met primair van belang zijnde eigenschappen. De genoemde dichtheden, poriëngehalte en holle ruimte zijn aan elkaar gerelateerd, zodanig dat bij bekend zijn van drie van deze eigenschappen de beide overige daaruit afgeleid kunnen worden.

Uit het vochtgehalte en de dichtheid van de steenstukken en bulkdichtheid kunnen vochtige dichtheden afgeleid worden die van belang zijn voor elementaire gedragingen.

In bijlagen A en B zijn de genoemde aardeigenschappen nader gedefinieerd en beschouwd.

Met het noemen van factoren en hoedanigheden waarop eisen betrekking kunnen hebben is nog niet bepaald of eisen voor desbetreffende factoren zullen gelden, en hoewel dit buiten het kader van structuur in eisen valt, door wie deze eisen worden gesteld. In dit opzicht is een ontwikkeling van verschuiving van verantwoordelijkheden van de opdrachtgever naar de aannemer, die momenteel gaande is, van belang. Minimaal dient een opdrachtgever functie-eisen en randvoorwaarden aan te geven.

De vraag welke factoren ten behoeve van de uitvoering van werken via eisen begrensd dienen te worden, heeft vooral betrekking op de drie onderste niveaus van de piramide. In principe kunnen eisen op slechts een van deze drie niveaus toereikend zijn. De keuze hangt van veel factoren af.

In het algemeen kan worden gesteld dat hoe lager in de piramide eisen gelden, hoe meer onzekerheden ontstaan over het voldoen aan functie-eisen. Dit hangt samen met relaties tussen de diverse eisenniveaus. Hoe meer relaties, uitgedrukt in modellen (zie 5.3) betrokken zijn, hoe meer het cumulatieve effect van onzekerheden dienaangaande betrokken is.

Anderzijds is controle-technische keuze voor het laagste niveau veelal aantrekkelijk vanwege de gewoonlijke eenvoud van de proeven die ter toetsing van de eisen gebruikt kunnen worden.

Het niveau waarop eisen worden gesteld hangt ook samen met tradities en de op materialengebied typisch landgebonden situatie. Het in Nederland afhankelijk zijn van import van breuksteen, maakt het alleszins verantwoord om duurzaamheid op een laag niveau in de eisen-piramide veilig te stellen. Er is immers geen of nauwelijks dwang om in dit opzicht marginale materialen te gebruiken. De grote transportafstanden en -kosten maken de keuze van kwalitatief goede steensoorten aantrekkelijk boven marginale materialen, omdat de relatieve prijsverschillen gering zijn. Het richten op eisen op het niveau van constructief gedrag is dan ook niet nodig, omdat een indirecter en daarmee onnauwkeuriger eisstelling op lager niveau geen problemen oplevert.

Voor constructies in het buitenland, waar lokaal beschikbare meer marginale materialen voorkomen ligt dit anders, zo goed als voor toepassing van de veelal marginale secundaire materialen in Nederland.

De sterk vergrootte inspanning om secundaire bouwstoffen in waterbouwkundige constructies toe te passen heeft de laatste tijd de aandacht vergroot voor de relaties tussen de diverse eiseniveaus voor deze materialen.

Tenslotte zij opgemerkt dat ook de verdeling van verantwoordelijkheden bij de uitvoering van werken tussen betrokken partijen (opdrachtgever/directie, aannemer, leverancier, producent) een rol speelt bij de keuze van het niveau waarop eisen gesteld worden. Dit staat in verband met tijd- en plaats gebonden overdracht van verantwoordelijkheden en daarop betrokken vereiste controle mogelijkheden.

### **5.3 Randvoorwaarden**

#### **5.3.1 Algemeen**

De randvoorwaarden die betrekking hebben op het functioneren van waterbouwkundige constructies (bijv. filters van steenmateriaal) worden ondermeer bepaald door de omgeving waarin deze constructies zich bevinden. In principe kunnen drie soorten randvoorwaarden worden onderscheiden die betrekking hebben op achtereenvolgens de omgeving, de constructie en het beleid.

#### **5.3.2 Omgevingsrandvoorwaarden**

Omgevingsrandvoorwaarden zijn alle, in de omgeving van de te maken constructie voorkomende aspecten die van invloed kunnen zijn op het constructieve ontwerp. Voorbeelden zijn:

- waterstanden
- golven (windgolven, seiches, scheepsgolven, hoogwatergolven, lange golven t.g.v. getij)
- stroming
- bodem-turbulentie (uniforme stroming) en turbulentie t.g.v. niet-uniforme stroming

De waterstanden vormen niet zozeer een belasting maar bepalen vooral het niveau waar de belasting aangrijpt. De wind beïnvloedt vooral in kustgebieden in belangrijke mate de waterstanden en opwaaiing. Voor het vaststellen van de ontwerp-waterstanden wordt in de nederlandse praktijk veel gebruik gemaakt van geregistreerde waterstanden, omdat hiervan betrouwbare langjarige reeksen beschikbaar zijn (zie e.g. Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen [8]).

Uit de praktijk is gebleken dat de afmetingen van windgolven afhangen van de windrichting (strijklengte), de waterdiepte, de windsnelheid en de tijdsduur van de windsnelheid. De windrichting wordt meestal in sectoren gegeven. Voor de windstatistiek vormt het 'Windklimaat van Nederland' van Wieringa en Rijkooit een belangrijke informatiebron [9]. Hierin zijn op basis van beschikbare windgegevens en extrapolatie voor heel Nederland extreme windsnelheden bepaald tot herhalingstijden van 1000 jaar. De meeste waterbouwkundige constructies bevinden zich in ondiep water. Onder deze geschetste condities dient rekening te worden gehouden met een groot aantal processen, zoals refractie, shoaling, diffractie, energieverlies door breking en in veel gevallen ook golfgroei. Bij waterkeringen manifesteren de golven zich als oploop en overslag. Meer informatie over deze fysische verschijnselen kan in standaard boeken worden gevonden (e.g. Nortier [7]).

Seiches zijn onregelmatige schommelingen van de waterspiegel, veroorzaakt door macroscopisch turbulenties in de atmosfeer bij storm. De periode van seiches varieert van enige minuten tot een uur. De grootte kan oplopen tot 0,5 m.

In principe kunnen schepen verschillende belastingen genereren, bijvoorbeeld door aanvaringen, scheepsankers, schroefstralen en scheepsgolven. Schepen die door een kanaal of rivier varen, kunnen een behoorlijke golfaanval op de oever veroorzaken. De maximale hoogte van scheepsgolven is afhankelijk van de vaarsnelheid van het schip en van de ruimte die het schip in het vaarwater heeft.

Hoogwatergolven zijn golven die in rivieren optreden en een tijdsduur hebben variërend van enkele dagen tot enkele weken. Dit verschijnsel gaat gepaard met hoge waterstanden in de rivier. Bovendien zijn niet alleen de stroomsnelheden maar ook het turbulentieniveau hoger.

Een van de meest kenmerkende eigenschappen van kustwateren is de getijdebeweging. Er kan onderscheid worden gemaakt naar de bewegingsrichting van het water, te weten:

- verticaal getij (= op en neer gaan van de waterspiegel).
- horizontaal getij (getijstromen in zeegaten en zee-armen en langs de kust).

Langs de Nederlandse kust is de stroming bij opkomend water noordwaarts en bij afgaand water zuidwaarts. De stroomsnelheid is dus niet constant en de stroming heeft een grillig karakter. Op zeer veel plaatsen langs de kust zijn metingen verricht van de stroomsnelheden en gedocumenteerd in stroomatlassen uitgegeven door de Dienst der Hydrografie van de Rijkswaterstaat.

De belasting door stroming is medebepalend voor het ontwerp van de constructie en voor filters (steenmateriaal) veelal maatgevend. De volgende gevallen kunnen worden onderscheiden:

- stroming waarbij sterke turbulentie optreedt, zoals achter uitstroomconstructies (e.g. sluisen, stuwen).
- stroming over de kruin van een dijk of een krib wanneer de waterstand hoger is dan de kruin.
- stroming langs de constructie wanneer die hoger is dan 2m/s

De berekening van de turbulentie achter uitstroomconstructies is gecompliceerd. Nieuwe ontwikkelingen met stromingsmodellen op basis van de complete Navier-Stokes vergelijkingen komen weliswaar steeds dichterbij maar zijn anno 1996 niet operationeel inzetbaar. In eenvoudige gevallen wordt daarom eenvoudigweg zwaarder gedimensioneerd en in uitzonderlijke gevallen zal modelonderzoek nodig zijn.

De hiervoor genoemde omgevingsfactoren betreffen vooral belastingen door beweging van oppervlaktewater. Daarnaast kunnen allerlei andere aspecten van invloed zijn op een constructie:

- Belastingen, die voortkomen uit andere dan waterbouwkundige functies, bijvoorbeeld: belopen door mensen en vee, verkeersbelastingen.
- Aardbevingen of andere gebeurtenissen met veel trillingsenergie zoals het trekken van damwanden en seismisch onderzoek dat bijvoorbeeld tot het optreden van overspannen water en waterstroming kan leiden.
- De omgevingsbestemming zoals waterwingebied of natuurgebied waaruit voorwaarden voort kunnen komen die de toepasbaarheid van materialen kan beperken vanwege de afgifte van schadelijke stoffen of het uiterlijk van materialen.
- Atmosferische condities die van invloed zijn op hiervoor genoemde beweging van oppervlaktewater, maar ook bepalend zijn voor allerhand verschijnselen, zoals ijsvorming, ijsgang, kruisend ijs, opvriezen van grond, destructieve vorst- en dooi-invloeden op steenmateriaal.
- De samenstelling van de ondergrond die in velerlei opzichte bepalend is voor gedragingen van een constructie en waarop in een ontwerp geanticipeerd moet worden. Hierbij kan bijvoorbeeld genoemd worden zettingen en mogelijke variaties daarvan, bepalend voor hoogteligging en eventuele veranderingen in de geometrie van een constructie, bedreigingen van stabiliteit in een consolidatiefase, stijfheidsgedrag van de ondergrond met het oog op spanningen en vervormingen en filtergedrag bij aansluiting van de bodem op de eerste aangebrachte constructieve laag.
- Zettingsvloeiingen, afschuivingen, lokale ontgrondingen zijn van belang voor de macrostabiliteit. Grondwaterstroming kan leiden tot bijvoorbeeld piping en instabiliteit van

korrels in het filterpakket (micro-instabiliteit). Uittredend grondwater stelt eisen aan een filterlaag op de bodem en afsluitende lagen naast of in een waterbouwkundige constructie al of niet in de bouwfase.

### 5.3.3 Constructieve randvoorwaarden

Constructieve randvoorwaarden zijn aspecten die uit de constructieve vormgeving en andere gebruik van de constructie of een beschouwd onderdeel daarvan voortkomen. Tot deze aspecten behoren:

- Het constructieve ontwerp dat in een eisen-analyse als te verifiëren concept fungeert inclusief vormgevingsimplicaties zoals bijvoorbeeld oppervlakteruwheid die weer met aardaspecten en uitvoeringswijze in verband gebracht kan worden.
- Constructieve voorwaarden, die voortvloeien uit andere dan waterbouwkundige functies, bijvoorbeeld een in de waterbouwkundige constructie op te nemen wegconstructie.
- Uitvoeringswijze van de constructie.

### 5.3.4 Beleidsrandvoorwaarden

Naast voornoemde factoren kunnen algemene beleidsvoorwaarden gelden waarmee bepaalde keuzen reeds min of meer zijn vastgelegd, bijvoorbeeld: importrestricties voor zekere materialen of voorkeursbeleid ten aanzien van bepaalde materialen (stimulering hergebruik of gebruik van secundaire materialen; een keuze voor een oplossing in beton of staal etc.).

## 5.4 Interacties

Uitgaande van de randvoorwaarden dienen ten behoeve van een constructief ontwerp relaties tussen aspecten op diverse eisenniveaus in de piramide bekend te zijn om eisen te kunnen bepalen opdat aan functie- en daarmee gebruikerseisen kan worden voldaan. Dergelijke ontwerpmodellen kunnen van diverse aard zijn zoals rekenkundige oftewel kwantitatieve modellen, beschrijvende (kwalitatieve) en ervaringsmodellen.

Ervaringsmodellen betreffen het in de praktijk leren of bepaalde constructieve oplossingen goed functioneren en welke relevante kwalitatieve relaties bestaan op groot waarvan bij sterker golfaanval bijvoorbeeld een zwaardere steensortering in de toplaag gekozen wordt. Deze ervaring kan gebruikt worden voor een nieuwe ontwerp.

Ervaringsmodellen hebben een beperkte waarde omdat zij slechts gehanteerd kunnen worden in situaties waarin niet van deze ervaringen wordt afgeweken. Dergelijke afwijkingen komen vooral tegenwoordig veel voor en betreffen allerhande aspecten, zoals nieuwe materialen en andere of nieuwe randvoorwaarden, bijvoorbeeld ten aanzien van het milieu.

Een ander bezwaar tegen ervaringsmodellen is het veelal onbekend zijn van de veiligheidsmarge tussen de aanwezige en de minimaal vereiste eigenschappen. Er kan dan sprake zijn van ongewenste overdimensionering.

Beschrijvende modellen geven verklaringen voor constructieve en materiaalkundige gedragingen zonder kwantificering daarvan.

Beschrijvende modellen bieden door de verklarende werking van interacties meer mogelijkheden om in nieuwe situaties voor toetsing van geschiktheid te kunnen gebruiken.

Zo bestaat een goed inzicht in de factoren en de onderlinge samenhang daarvan die bij de breuk en slijtage van steenstukken een rol spelen. Er bestaan echter geen kwantitatieve modellen volgens welke de mate van breuk en slijtage in werkelijkheid bepaald kan worden. Om deze reden worden op het niveau van elementair gedrag eisen op basis van classificatie gehanteerd in plaats van nauwkeurig afgeleide eisen.



Ten behoeve van dimensionering zijn in toenemende mate kwantitatieve (nauwkeurige) modellen beschikbaar. Voor duurzaamheid geldt het tegendeel waar het gaat om destructie van materiaal. Kwantitatieve of rekenkundige gedragsmodellen zijn de na te streven modellen, omdat deze modellen in principe subjectiviteit missen door de werkelijkheid exact te beschrijven en via communicatie goed overdraagbaar zijn.

Het exact beschrijven van de werkelijkheid in kwantitatieve modellen is gewoonlijk beperkt het geval, onder andere door schematiseringen waardoor de variabiliteit van de werkelijkheid geweld wordt aangedaan. Van deze gebrekkigheid en de begrensde toepasbaarheid van kwantitatieve modellen dient een ontwerper zich goed bewust te zijn.

Verder bestaan er constructieve schaalmodellen zoals de centrifugeproef en analoge modellen zoals het elektrisch analogon, die voor het leren kennen van gedragingen van belang kunnen zijn.

## 5.5 Een voorbeeld

Een beschreven "structuur in eisen" wordt hierna nader verduidelijkt door middel van een voorbeeld. Dit voorbeeld betreft een duurzaamheidsaspect: materiaalverfijning door de invloed van vorst- en dooiwisselingen. Het gaat hierbij om een te versterken waterkering in de vorm van een dijk.

De voornaamste gebruikerseis betreft veiligheid tegen overstroming. De vereiste duurzaamheid kan op functie-eisenniveau beschreven worden in termen van onderhoudsfrequentie en de kosten daarvan in relatie tot de kosten van het maken van de dijkversterking. Een en ander kan afgeleid worden uit beleid op het gebied van onder andere investeringen en onderhoudsstrategie. Uiteraard gelden algemene voorwaarden op het gebied van duurzaamheid, zoals meetbaarheid van de actuele kwaliteit van de dijk op enig moment na aanleg en de eis dat onderhoud uitvoerbaar is binnen aanvaardbare kosten en tijd.

Constructieve gedragseisen hebben betrekking op een concreet ontwerp-concept. Deze gedragseisen betreffen de hele constructie en onderdelen daarvan. In het hier beschreven voorbeeld wordt een filterlaag van puingranulaat beschouwd onder een toplaag van breuksteen in het door stroming en golfaanval belaste buitendijkse talud.

Voor puingranulaat is gekozen op grond van een beleidsrandvoorwaarden om secundaire materialen zoveel als aanvaardbaar mogelijk is toe te passen. De algemene voorwaarden ten aanzien van aanvaardbaarheid betreffen aspecten zoals kosten en het milieu.

Met een faalkansanalyse wordt de relatie onderzocht tussen de duurzaamheidseis voor de totale constructie op het functie-eisenniveau en de duurzaamheidseisen op het constructief gedragsniveau. Voor de filterconstructie kan daarbij door middel van een kwantitatief gedragsmodel en de afgeleide duurzaamheidseis bepaald worden, welke verfijning het puingranulaat vanaf de aanleg in zekere tijd mag ondergaan tengevolge van een gebrekkige duurzaamheid.

Het constructieve gedrag van de filterlaag met betrekking tot verfijning door een gebrekkige duurzaamheid wordt vooral bepaald door de inwerking van vorst en dooi (omgevingsrandvoorwaarden). Deze inwerking is naast het desbetreffende elementaire gedrag van het puingranulaat onder andere afhankelijk van diverse constructieve randvoorwaarden, zoals de laagdikte van de toplaag op de filterlaag en de aard van het materiaal daarvan. Ook omgevingsrandvoorwaarden zoals de aard van het water (zout, zoet) en niveauvariatie van het water door getijdewerking zijn van belang. Verder gelden verschillen in effecten van vorst- en dooiwisselingen in afhankelijkheid van ligging ten opzichte van het waterniveau.

Dit constructieve gedrag is niet beschreven in een kwantitatief model. In kwalitatieve zin zijn slechts gebrekkige beschrijvingen mogelijk. Met het puingranulaat bestaat geen langdurige ervaring in vergelijkbare omstandigheden.

Het relevante elementaire gedrag van het puingranulaat, de weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen, wordt bepaald met een proef waarbij een aantal eenduidig gedefinieerde vorst-

en dooiwisselingen op materiaal in zekere condities wordt uitgeoefend. De materiaalverfijning die daarbij optreedt kan slechts met de verfijning in de constructie in verband gebracht worden door een vergelijking van de randvoorwaarden in de proef met die welke in de constructie van belang zijn, en het min of meer speculatief daaruit trekken van conclusies. Volgens algemene ervaring zou, bij het voldoen van het proefresultaat aan gangbare strenge eisen, de verfijning in de praktijk geen rol van betekenis spelen. Puingranulaat voldoet echter gewoonlijk, afhankelijk van de samenstelling, niet aan deze eisen.

Hieruit volgt onder andere de behoefte aan onderzoek. Voor het actuele ontwerp kan dit het nemen van maatregelen betekenen zoals:

- een groter laagdikte;
- grover materiaal;
- milde maar voor puingranulaten, relatief scherpe eisen voor de resultaten van vorst-dooiproeven of het begrenzen van de samenstelling van het puingranulaat ten aanzien van de componenten met de geringste bestandheid tegen vorst- en dooiwisselingen.

De weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen van een materiaal (in de gedefinieerde proefcondities) is afhankelijk van de aard van het materiaal. Over deze relatie is in kwalitatieve, beschrijvende zin wel het een en ander bekend. Het werkzame mechanisme van aantasting bestaat uit de expansie van water bij afkoeling bij bevriezing. Water dat zich in de poriën van steenmateriaal bevindt veroorzaakt daardoor trekspanningen in het steenmateriaal waardoor bezwijking kan optreden. De toegankelijkheid van poriën voor water en de afmetingen van de poriën spelen daarbij een belangrijke rol. Het kennen van de mechanismen en de rol van de aard van het materiaal daarin is van belang voor planvorming voor onderzoek en interpretatie van meetresultaten.

## **6. Variabiliteit en fouten**

### **6.1 Algemeen**

Geabstraerd gesteld is ontwerpen gericht op het kennen van reacties van een op zekere wijze vormgegeven ontwerpconstructie op de condities waarin de constructie zal verkeren. Een aspect daarvan is bijvoorbeeld de relatie tussen zekere belastingen en relevante sterkte-eigenschappen van een constructie. Het kennen van voornoemde reacties is altijd gebrekkig tengevolge van beperkte kennis van allerlei betrokken aspecten en door onnauwkeurigheden en fouten bij de bepaling ervan.

### **6.2 Nauwkeurigheid van ontwerpmodellen**

De ontwerp-kennis, uitgedrukt in modellen, heeft een beperkte mate van nauwkeurigheid. Dit wordt veroorzaakt door gebrekkigheden in de modellen als zodanig en door fouten in de parameters bij toepassing van de modellen.

Gebrekkigheden in de modellen worden veroorzaakt door modellering op basis van onnauwkeurige gegevens en door schematisatie van de complexe werkelijkheid.

Fouten in de parameters bij toepassing van de modellen worden veroorzaakt door het gebrekkig kennen en modelleren van de plaats- en tijdsafhankelijke condities zoals golfbelastingen en eigenschappen van materialen en constructie-onderdelen. Bovendien is bij het meten ter vaststelling van de condities en eigenschappen het maken van fouten onvermijdelijk. Deze fouten betreffen toevallige fouten en veelal ook systematische fouten. Genoemde fouten en gebrekkigheden kunnen deels onderkend worden door alle mogelijke oorzaken en gevolgen van gebreken te analyseren door beschrijving daarvan in foutenbomen. Dit kan als hulpmiddel in aanvulling op de analyse volgens "structuur in eisen" gehanteerd worden.

De fouten bij het vaststellen van materiaaleigenschappen worden veroorzaakt door allerlei factoren zoals de beperktheid in monsterneming naar aantal en representativiteit, verlies aan representativiteit door monsterbewerking (samenstellen, verdelen, verfijnen, voorbehandelen etc.) en door de fouten in de metingen of analyses.

Bij het direct meten van eigenschappen zonder betrokkenheid van bemonstering bijvoorbeeld van golven of constructief gedrag zijn de fouten afhankelijk van het aantal metingen en de nauwkeurigheid van de meetmethoden.

Systematische fouten zijn niet per definitie storend bij modellering. Veelal zijn systematische fouten zelfs onbewust meegenomen in modellering. Hierop dient wel gelet te worden bij veranderingen in meetmethoden. In het algemeen geldt hierbij, dat het meetresultaat afhankelijk is van de meetmethode, ook voor wat betreft een systematische fout. Veel eigenschappen zijn zelfs niet concreet definieerbaar zonder de proefmethode te noemen. Dit geldt bijvoorbeeld voor druksterkte. Andere eigenschappen bestaan onafhankelijk van de proefmethode, zoals de snelheid van water in zekere condities.

Bij het ontwerpen volgens kwantitatieve modellen wordt uitgegaan van een deterministische of probabilistische methode. In de deterministische aanpak worden, in verband met variaties in randvoorwaarden en eigenschappen en onnauwkeurigheden in de bepaling daarvan, veilige waarden aangehouden of veiligheidsfactoren. Bij een probabilistisch ontwerp worden de onzekerheden, uitgedrukt in kansverdelingen, in de ontwerpberoeeningen meegenomen. Hierbij moet geanticipeerd worden op eventuele onderlinge afhankelijkheid van variabele factoren. Het modelleren van de kansen volgens gemakkelijk hanteerbare modellen, zoals normale of lognormale verdelingen, kan door afwijkingen van de werkelijke verdelingen weer bron zijn voor nieuwe fouten of onzekerheden.

Probabilistisch ontwerpberoeeningen bieden goede mogelijkheden de relatieve risicobijdrage van de onderscheiden constructieve parameters te bepalen.

Op grond daarvan kunnen bijvoorbeeld afwegingen gemaakt worden naar het rendement van onderzoek naar een nauwere precisering en inkadering van deze parameters. Hierbij kunnen zowel de werkelijke variantie als het preciezer kennen van de gemiddelde waarde doel van onderzoek zijn.

### **6.3 Nauwkeurigheid bij keuren**

Bij modellering speelt zoals hiervoor gesteld het kennen van de kwaliteit en de variabiliteit van een materiaal in een constructie een rol. Anderzijds is dit ook het geval bij toetsing op voldoen aan eisen bij keuring. Hierbij wordt voornamelijk op de gemiddelde kwaliteit geoordeeld. De betekenis van de variabiliteit van een loskorrelig materiaal in een constructie-onderdeel is hiervoor in hoofdstuk 6 in hoofdlijnen geschetst. Voorzover het kennen van de gemiddelde kwaliteit van een eigenschap in de constructie aan de orde is (ontwerpkundig doel), komt de vraag op hoe zich dit verhoudt tot de nauwkeurigheid waarmee bij keuring de gemiddelde kwaliteit bepaald wordt of zou moeten worden bepaald (keuringstechnisch doel).

Voor beide doelen geldt als uitgangspunt eenzelfde beoordelingscriterium: de eisen die volgens het bestek gelden. Bij een deterministisch ontwerp wordt wel, al of niet expliciet, een veiligheidsfactor aangehouden. Dit is mede afhankelijk van de kritische rol die een eis speelt. De veiligheidsfactor is impliciet aanwezig door uit te gaan van een minimumwaarde voor een gemiddelde eigenschap waarvoor een eis geldt.

In een deterministisch ontwerp wordt de mogelijke minimumwaarde van een eigenschap of de vereiste veiligheidsfactor afgeleid uit de eisen, de keuringskarakteristiek, verandering van de eigenschap na keuren tot en met het aanbrengen in de constructie en degradatie ten gevolge van beperkte duurzaamheid. Dezelfde factoren leiden tot het kennen van de statistische parameters ter beschrijving van een eigenschap ten behoeve van een probabilistisch ontwerpberoeening.

Bij keuring wordt gewoonlijk geen factor aangehouden voor toetsing van materiaal, wat betekent dat het keuringsresultaat direct wordt vergeleken met de eis (een uitzondering wordt gevormd door milieutechnische samenstelling en uitloging). Dit komt neer op een gelijke risicoverdeling tussen producent en consument. Ter bestrijding van het producentenrisico tot een aanvaardbare maat dient de producent een marge aan te houden tussen de geproduceerde

en vereiste minimale kwaliteit. De druk om deze marge zo klein mogelijk te houden leidt tot de wens van een goed onderscheidende keuringskarakteristiek. Dit kan conflicteren met de opvattingen van ontwerpers over de verlangde precisie in het bepalen van een eigenschap wanneer bijvoorbeeld uit hoofde van probabilistisch beschouwingen en economische overwegingen met een veel geringer nauwkeurigheid volstaan kan worden.

## **7. Toepasbaarheid van "structuur in eisen"**

Het gebruik van "structuur in eisen voor loskorrelig steenmateriaal in de waterbouw" houdt een nauwgezette analyse in van alle ontwerp-kundige aspecten, die relevant zijn voor een constructie waarin loskorrelig steenmateriaal wordt toegepast. Bij de analyse worden deze aspecten, zoals in dit rapport is beschreven, gerubriceerd en in verband met elkaar gebracht. Door deze werkwijze kunnen doelstellingen zoals in hoofdstuk 3 genoemd zijn nagestreefd worden.

De eigenschappen van loskorrelige steenmaterialen, die bij toepassing in waterbouwkundige constructies van belang kunnen zijn, zijn in de bijlagen bij dit rapport beschreven. Deze beschrijving kan gebruikt worden als checklist voor de analyse van een constructie.

De geschilderde systematiek van "structuur in eisen" kan voor diverse onderdelen van een waterbouwkundige constructie toegepast worden, maar ook voor onderscheiden fasen van een constructie-onderdeel. Een "structuur in eisen" kan voor constructieve onderdelen beschreven worden voor de aanleg-, gebruiks- en reconstructie- en/of hergebruikfase. Het scheiden van deze fasen in de analyse volgens de "structuur in eisen" is aantrekkelijk vanwege de vele specifieke factoren die per fase gelden en vanwege verschillen in partijen die belang hebben bij deze analyses.

Het analyseren van de aanlegfase van waterbouwkundige constructies volgens de discipline van "structuur in eisen" is vooral momenteel aantrekkelijk vanwege de ontwikkeling naar kwaliteitssystemen en wijziging in verantwoordelijkheden van betrokken partijen. Hierbij is vooral het analyseren van oorzaak en gevolg van menselijk handelen met het oog op kwaliteit van belang. "Structuur in eisen" voor uitvoering kan hierbij een uitstekend hulpmiddel zijn, omdat de vraag naar interacties daarbij centraal staat. De aantrekkelijkheid van deze analyse voor uitvoering is nog groter en zelfs noodzaak bij een in de toekomst mogelijke situatie, waarin werken op niveau van functie-eisen door opdrachtgevers worden gedefinieerd.

De in dit rapport gerubriceerde condities, en de eigenschappen en aspecten waarop eisen gericht kunnen worden, hebben vooral betrekking op het ontwerp van een constructie, waarbij beschouwen van de levensduur en uitvoerbaarheid essentiële onderdelen vormen.

Het richten van een analyse volgens structuur in eisen op uitvoering of hergebruik omvat, naast een deel van de hier genoemde factoren, ook talrijke andere aspecten. Zo kunnen bij uitvoering bijvoorbeeld verwerkbaarheid, verdichtbaarheid en berijdbaarheid een al of niet specifieke rol spelen. Bij hergebruik staat de vraag centraal hoe het vrijkomende materiaal weer zo hoogwaardig mogelijk hergebruikt kan worden, hetgeen weer samen kan hangen met de wijze waarop het materiaal vrijgemaakt wordt gelet op de mogelijkheden.

Bij het ontwerpen moet zeker rekening gehouden worden met allerlei aspecten van uitvoering, reconstructie of hergebruik die samenhangen met uitvoerbaarheid, kosten, duurzaam bouwen en andere belangen die met het ontwerp min of meer bepalend worden beïnvloed. De beschouwingen in dit rapport zijn echter, mede gelet op de geformuleerde doelstellingen, vooral in engere zin beperkt tot het ontwerpen zonder voornoemde implicaties. Vanwege de doelstellingen wordt ook de invloed van de constructie op de omgeving slechts beperkt aandacht gegeven bij het noemen van concrete aspecten en randvoorwaarden, eigenschappen en functies.

In het algemeen geldt dat dit rapport vooral gericht is op de systematiek van de analyse volgens structuur in eisen. Bij gebruiken van deze systematiek voor een concreet doel dient steeds een nauwgezet onderzoek gedaan te worden naar alle bepalende factoren en de plaats die zij hebben in "structuur in eisen".

## Definities

**1 Constructie-onderdelen**

- 1a. Toplaag: de bovenste laag van een waterbouwkundige constructie die blootgesteld is aan golven en/of waterstroming.
- 1b. Filterlaag: een waterdoorlatende laag in een waterbouwkundige constructie die als primaire functie het voorkomen van transport van onderliggend materiaal uit de constructie heeft.
- 1c. Kern: het binnenste deel van een dijk of dam.
- 1d. Aanvulling: een opvulling van een ruimte met behulp van materiaal.
- 1c. Ophoging: een verhoging van het bestaande niveau van een bodem met behulp van materiaal tot het gewenste niveau.
- 1f. Hulpkade: een damvormige constructie die tijdens de uitvoering functies vervult zoals keren van gespoten zand of bescherming tegen golven.
- 1g. Fundatielaag: een constructie-onderdeel dat als primaire taak het spreiden van belasting heeft waardoor ondersteuning gegeven wordt aan een bovenliggende laag of lagen.

**2 Aardeigenschappen**

- 2.1 Dichtheid van de vaste stof: de massa van de droge stof per eenheid van volume van droge stof,  $\text{kg/m}^3$  ( $10^{-3} \text{ t/m}^3$ ,  $10^{-3} \text{ Mg/m}^3$ ).
- 2.2 Dichtheid van een steenstuk: de massa van het droge steenstuk per eenheid van volume,  $\text{kg/m}^3$ .
- 2.3 Bulkdichtheid: de droge massa van het bulkmateriaal per eenheid van volume,  $\text{kg/m}^3$ .
- 2.4 Poriëngehalte: het gedeelte van het volume van een steenstuk, dat uit poriën bestaat, %.
- 2.5 Holle ruimte: het gedeelte van het bulkmateriaal, dat uit holle ruimte tussen de steenstukken bestaat, %.
- 2.6 Korrelgrootteverdeling: de cumulatieve verdeling van de steenstukken naar grootte, % (m/m) op zeven (buitenland door zeven).
- 2.7 Massaverdeling: de cumulatieve verdeling van de steenstukken naar massa, % (m/m) groter dan massa's (buitenland kleiner dan massa's).
- 2.8 Lengte-tot-dikte verhouding: de verhouding tussen en de lengte en de dikte van een steenstuk:
  - lengte: de maximum afmeting van een steenstuk, gedefinieerd door de grootste afstand tussen twee parallelle vlakken rakend aan het steenoppervlak (CEN-definitie).
  - dikte: de minimum afmeting van een steenstuk, gedefinieerd door de kleinste afstand tussen twee parallelle vlakken rakend aan het steenoppervlak (CEN-definitie).
- 2.9 Rondheid: de mate van niet aanwezig zijn van verbrijzeld of gebroken oppervlak van een steenstuk, %.
- 2.10 Textuur: de ruwheid van het oppervlak van steenstukken.
- 2.11 Vochtgehalte: de massa van water in het steenmateriaal per eenheid van droge massa van het steenmateriaal, % (m/m).
- 2.12 Samenstelling: de chemisch-mineralogisch componenten, waaruit het materiaal bestaat, % (m/m).
- 2.13 Vreemde bestanddelen: materialen van afwijkende aard in het steenmateriaal.
- 2.14 Oppervlakteverontreiniging: verontreiniging aan het oppervlak van steenstukken die schadelijk zijn voor de toepassing zoals aangehechte klei of andere grond in verband met penetratie met een cement- of bitumineus mortel.

### 3 Elementair materiaalgedrag

- 3.1 Weerstand tegen golfbelasting: de weerstand tegen verplaatsen van steenmateriaal door belasting door golven.
- 3.2 Weerstand tegen stroming: de weerstand tegen verplaatsen van steenmateriaal door belasting door stroming. Er worden drie materiaal- en stromingscondities onderscheiden:
- een toplaag met overtrekkende stroming in combinatie met eventueel aanwezige stroming loodrecht op de toplaag (stabiliteit onder stromingsbelasting);
  - een filterlaag waarbinnen materiaal zou kunnen verplaatsen (interne filterstabiliteit);
  - een filter of toplaag waardoor, door stroming loodrecht op de laag in combinatie met eventuele overtrekkende stroming, materiaal uit een onderliggende laag kan uittreden (filterdichtheid);
- 3.3 Waterdoorlatendheid: de mate waarin een korrelmassa water doorlaat, m/s.
- 3.4 Hoek van inwendige wrijving: de hoek waarvan de tangent overeenkomt met de verhouding tussen de opgelegde schuifspanning en de normaalspanning op het moment van afschuiven in een vlak.
- 3.5 Ontmengingsgevoeligheid: de mate waarin concentraties van steenstukken met een van de gemiddelde korrelgrootte- of massaverdeling afwijkende verdeling kunnen ontstaan bij verplaatsing van het materiaal.
- 3.6 Doseerbaarheid: de nauwkeurigheid waarmee het materiaal naar hoeveelheid per oppervlak of laagdikte aangebracht kan worden.
- 3.7 Bloksterkte: de weerstand tegen breken van een steenstuk onder invloed van stootkrachten.
- 3.8 Weerstand tegen breuk: de mate waarin kracht op het steenmateriaal, exclusief de discontinuïteiten daarin, uitgeoefend moet worden om breken te veroorzaken.
- 3.9 Weerstand tegen slijtage: de mate waarin materiaalverlies beperkt blijft bij uitoefening van afschurende werking op het steenoppervlak.
- 3.10 Weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen: de weerstand tegen bezwijken van steenstukken door het herhaaldelijk bevroren en ontdooien van poriënwater in de steenstukken.
- 3.11 Weerstand tegen zoutkristallisatie: de weerstand tegen bezwijken van steenstukken door kristallisatie van zouten in het poriënwater in de steenstukken.
- 3.12 Uitloggedrag: het uittreden van stoffen uit steenstukken door diffusie en door waterstroming in afhankelijkheid van beïnvloedende factoren zoals temperatuur, zuurgraad en reducerende of oxyderende omstandigheden.
- 3.13 Onbestendigheid door zonnebrand: het verlies aan samenhang in sommige basaltsoorten onder invloed van atmosferische omstandigheden.
- 3.14 Vrije kalk onbestendigheid van staalslakken: het verlies aan samenhang in staalslakken tengevolge van omzetting van vrije kalk in kalkhydroxide, wat met volumevergroting gepaard gaat.
- 3.15 Verkitting: het ontstaan van binding tussen steenstukken door chemisch/fysische processen.
- 3.16 Kalkonbestendigheid van hoogovenslakken: het verlies aan samenhang in hoogovenslakken tengevolge van wijziging in een onbestendige modificatie van dicalciumsilicaat, wat met volumevergroting gepaard gaat.
- 3.17 IJzeronbestendigheid van hoogovenslakken: het verlies aan samenhang in hoogovenslakken tengevolge van omzetting van ijzer en sulfide tot ferrosulfide en vervolgens ijzerhydroxide, wat met volumevergroting gepaard gaat.
- 3.18 Begroeibaarheid: het bieden van voedingsbodem en substraat voor planten.
- 3.19 Substraatgedrag voor dieren: de mate waarin een geschikte vestigingsbodem geboden wordt voor dieren, zoals zeepokken en schelpdieren.

## Beschouwing en beproeving van eigenschappen

In deze bijlage worden de verschillende aspecten, waarop op de niveaus van aardeigenschappen en elementaire gedragseigenschappen eisen gericht kunnen zijn (zie hoofdstuk 5.1) op hoofdlijnen toegelicht. Voorzover definities zijn gegeven zijn deze opgenomen in bijlage A. Per aspect wordt de betekenis aangegeven en waar toepasselijk de beproevingswijze.

### B.1 Aardeigenschappen

#### De dichtheid van de vaste stof (definitie 2.1)

De dichtheid van vaste stof ( $\rho_v$ ), het poriëngehalte ( $n_p$ ) en de dichtheid van een steenstuk ( $\rho_r$ ) verhouden zich tot elkaar volgens:

$$\rho_r = \rho_v (1 - 0,01 n_p).$$

Het kennen van het poriëngehalte, gespecificeerd naar open en gesloten poriën, maakt het mogelijk de maximale wateropneming te bepalen (zie "vochtgehalte").

Proefprincipes ter bepaling van de dichtheid van de vaste stof betreffen verfijning van het materiaal, bepaling van de droge massa door weging en bepaling van het volume door meting met behulp van een pyknometer.

#### De dichtheid van steenstukken (definitie 2.2)

De dichtheid van steenstukken is een van de bepalende factoren voor de weerstand tegen waterbeweging.

In het algemeen neemt de duurzaamheid toe bij een hogere dichtheid.

Bepaling van de dichtheid vindt plaats volgens NEN 5186. Een vergelijkbare CEN-proef is in voorbereiding.

#### Bulkdichtheid (definitie 2.3)

Het kennen van de bulkdichtheid is van belang waar volume van een massa steen naar massa omgerekend moet worden. Een geringe bulkdichtheid is gewoonlijk aantrekkelijk waar een zeker volume in steenmateriaal bereikt moet worden. Bulkdichtheid en beschikbare hoogte zijn bepalend voor een bereikbare hoeveelheid belasting bijvoorbeeld als ballast.

De bulkdichtheid ( $\rho_b$ ) is afhankelijk van de dichtheid van de steenstukken ( $\rho_r$ ) en de holle ruimte ( $n_h$ ) volgens:

$$\rho_b = \rho_r (1 - 0,01 n_h).$$

Voor grofkorrelig materiaal is geen standaardproef beschikbaar voor de bepaling van de bulkdichtheid. Profielmetingen en massabepaling worden gewoonlijk gebruikt voor de bepaling van de bulkdichtheid. Profielmetingen ter bepaling van het volume roepen de vraag op naar de precieze begrenzing van de beschouwde massa (randeffect). Voor fijnkorrelig materiaal zijn diverse beproevingsmethoden voorhanden (zie o.a. [1]).

#### Poriëngehalte (definitie 2.4)

Zie "De dichtheid van de vaste stof".

#### Holle ruimte (definitie 2.5)

Zie "Bulkdichtheid".

De holle ruimte is van diverse factoren afhankelijk: vorm van de steenstukken (lengte-tot-dikteverhouding, rondheid, textuur, korrelgrootteverdeling (breedte c.q. spreiding), grofheid en wijze van aanbrengen.

#### Korrelgrootteverdeling (definitie 2.6)

De primaire constructieve betekenis betreft de afhankelijkheid van de weerstand tegen waterbeweging van de korrel(grootte)verdeling. Deze weerstand heeft betrekking op verplaatsen van steenelementen aan het oppervlak van en in een constructie als gevolg van waterbeweging. Van breuksteen en grove secundaire steenmaterialen wordt de korrelverdeling bepaald volgens NEN 5181. Voor fijnkorrelig materiaal is proef 6 van de standaard '95 [1] toepasbaar.

#### Massaverdeling (definitie 2.7)

Zie korrelgrootteverdeling.  
De massaverdeling wordt bepaald volgens NEN 5182.

#### Kleur

De kleur van steen kan om esthetische redenen van belang zijn.  
Het eenduidig karakteriseren van kleur is in principe mogelijk met bijvoorbeeld "Standard Soil Colour Charts". De bruikbaarheid van dergelijke standaardkleuren voor steenmaterialen is beperkt tengevolge van de voorkomende variabiliteit van de kleur.

#### Lengte-tot-dikte verhouding (definitie 2.8)

De lengte-tot-dikte verhouding van steenstukken heeft in diverse opzichten betekenis in samenhang met de oriëntatie (willekeurig of naar lengte of/en platheid gericht).  
Deze betekenis betreft o.a. de hoek van inwendige wrijving, de bulkdichtheid en de weerstand tegen waterstroming.

Het gehalte platte of lange steenstukken wordt gewoonlijk via een eis begrensd waarmee het gehalte stukken met een grotere verhouding dan 3:1 wordt beperkt.  
Beproeving vindt plaats volgen NEN 5183. Een vergelijkbare CEN-proef is in voorbereiding (daarbij gebezigde uitdrukingswijze wijken af van NEN 5183; principes van beide proeven zijn echter gelijk).

#### Textuur (definitie 2.10)

Textuur is van invloed op de hoek van inwendige wrijving van steenmassa's, oftewel het gemak waarmee steenstukken ten opzichte van elkaar kunnen verplaatsen.  
Er bestaat geen proefmethode voor textuur.

#### Vochtgehalte (definitie 2.11)

De mate van wateropneming kan in verband gebracht worden met duurzaamheid van steenmateriaal. Wateropneming verhoogt de (droge) dichtheid van steenstukken en de bulkdichtheid tot de "vochtige dichtheid van steenstukken" en de "vochtige bulkdichtheid". Deze dichtheden zijn veelal van bepalende betekenis en niet de droge dichtheden. De wateropneming is doorgaans echter relatief gering en in de praktijk moeilijk te bepalen en te voorspellen.  
NEN 5187 geeft een proefmethode voor bepaling van de wateropneming onder zekere condities.



### Samenstelling (definitie 2.12)

De chemisch-mineralogisch samenstelling heeft betekenis voor de uitloogbaarheid en begroeibaarheid van steenmateriaal. De mineralogisch opbouw van gesteente (structuur-matrix) is tezamen met (haar)scheuren en andere discontinuïteiten zoals aders bepalend voor de sterkte van het materiaal.

Voor beproevingswijze zie onder andere Bouwstoffenbesluit [2] en daarbij betrokken "uitvoeringsregeling" (nog te publiceren), alsmede geologische onderzoeksmethoden, waaronder ultrasone snelheidsmetingen [3,4].

### Vreemde bestanddelen (definitie 2.13)

Vreemde bestanddelen zijn slechts van betekenis voorzover relevante constructie-eigenschappen daardoor beïnvloed worden. Dit kan bijvoorbeeld de duurzaamheid betreffen wanneer instabiel steenmateriaal uit de laag op een steenformatie in de geproduceerde breuksteen terecht komt. Visuele beoordeling speelt bij toetsing een belangrijke rol.

### Oppervlakverontreiniging (definitie 2.14)

De verontreiniging kan vooral bij nat weer bij opslag en overslag optreden, en bij overstroming.

## **B.2 Elementaire gedragseigenschappen**

### Weerstand tegen golfbelasting (definitie 3.1)

De weerstand tegen golfbelasting wordt bepaald door modelproeven, waarvan resultaten in kwantitatieve modellen zijn vastgelegd, waarmee de constructieve stabiliteit onder golfbelasting kan worden bepaald.

### Weerstand tegen stroming (definitie 3.2)

De gedefinieerde weerstand tegen stroming omvat drie materiaal- en stromingscondities en verwijst daarmee naar evenzoveel onderscheiden constructieve gedragingen.

De weerstand tegen stroming wordt bepaald door modelproeven en theoretische analyse, waarvan resultaten in kwantitatieve modellen zijn vastgelegd, waarmee de constructieve stabiliteit onder stroming kan worden bepaald.

### Waterdoorlatendheid (definitie 3.3)

Waterdoorlatendheid is vooral van belang in verband met stabiliteit van een toplaag voorzover deze afhankelijk is van waterdruk onder de laag die onder andere van doorlatendheid afhangt.

Beproeving: voor grofkorrelige materialen wordt gewoonlijk gebruik gemaakt van onnauwkeurig werkende rekenmodellen. Fijnere materialen kunnen in het laboratorium in zekere condities (bulkdichtheid, potentiaalverschil etc.) beproefd worden (diverse normen en Standaard '95).

### Hoek van inwendige wrijving (definitie 3.4)

De hoek van inwendige wrijving ( $\varphi$ ) is van invloed op de stabiliteit onder golfbelasting en onder stromingsbelasting.

Voor zeer grof materiaal bestaan rekenkundige modellen ter bepaling van de  $\varphi$ -waarde. Voor fijner materiaal zijn triaxiaalproeven mogelijk met een celdiameter tot ongeveer 1 m.

### Ontmengingsgevoeligheid (definitie 3.5)

Ontmenging is van invloed op de lokaal in een depot of constructie aanwezige korrel- of massaverdeling. De door ontmenging veroorzaakte variabiliteit moet onderscheiden worden van de door toeval bepaalde concentraties van steenstukken met zekere afmetingen.

Ontmenging is afhankelijk van aardaspecten van het materiaal en van de manier van verplaatsen. De aardaspecten betreffen de vorm van de steenstukken en de grootteverdeling (breedte van de sortering en het verloop van de grootteverdeling voor wat betreft een relatieve over- of ondermaat van aanwezigheid van grove of zware steenstukken). Bij fijn materiaal tot ongeveer 10 mm kan schijnbare cohesie door aanhangend vocht van invloed zijn.

De manier van verplaatsen betreft bijvoorbeeld storten in een droog depot met afrolmogelijkheid van steenstukken, storten vanaf een transportband en strooien in water waarbij de zwaarste steenstukken het eerst de bodem bereiken.

Er bestaan geen standaard proeven ter bepaling van de ontmengingsgevoeligheid. Wel zijn de mechanismen die leiden tot ontmenging min of meer bekend en bestaat voor de sedimentatiesnelheid en daarmee voor ontmenging bij strooien in water een kwantitatief model.

### Doseerbaarheid (definitie 3.6)

De doseerbaarheid van loskorrelig steenmateriaal is bepalend voor de ontwerpkundige randvoorwaarden met betrekking tot nauwkeurigheid van dimensionering. Een bijkomend probleem wordt gevormd door het afhankelijk zijn van de laagdikte van grofkorrelig materiaal van de meetmethode en van de aard van de onderliggende laag [3].

De doseerbaarheid van loskorrelig steenmateriaal is afhankelijk van aardaspecten van het materiaal en de doseermethode oftewel de aanbrengwijze. Ook ontmenging kan een rol spelen. De relevante aardaspecten betreffen de vorm van de steenstukken en de grootte- of massaverdeling.

De mogelijk doseermethoden zijn legio en soms weer afhankelijk van de grofheid van het loskorrelig materiaal. Bij aanbrengen onder water met een kraan is het type kraan (draad of vaste giek) van belang, en de aanwezigheid en nauwkeurigheid van een plaatsbepalings- en plotsysteem. Steenstorters bieden een scala aan mogelijkheden: doorvallen van het op de storter gedoseerd materiaal; afschuiven van het materiaal van de verplaatsende steenstorter, waarbij eventueel trilling wordt uitgeoefend. Het laatste is bevorderlijk voor een gelijkmatige dosering omdat bressen van het materiaal beperkt wordt. Eventuele breswerking is mede afhankelijk van de aard van het materiaal. Soms zijn specifieke doseerwerktuigen voor een bepaald type werk beschikbaar zoals een pijpinrichting met verdichtingsmogelijkheid voor afdekking van pijpleidingen. Soms wordt zelfs voor een bepaald werk een systeem ontwikkeld zoals een kraaninrichting voor zeer zware sorteringen ten behoeve van de stormvloedkering Oosterschelde.

Aanbrengen van steen boven water kan door visuele controle nauwkeurig uitgevoerd worden. Het steen voor steen plaatsen in plaats van min of meer willekeurig storten kan tot een weinig variërende laagdikte met beperkte holle ruimte leiden.

### Duurzaamheid

De duurzaamheid van steenmaterialen is van veel gedragseigenschappen afhankelijk:

- Bloksterkte (definitie 3.7): de bloksterkte is vooral van belang bij transport en overslag, maar ook bij beweging van steenstukken in de constructie. Het gaat hierbij vooral om het breken van steenstukken in diverse brokstukken.  
Beproeving: valtest of indirect met ultrasonoor onderzoek [3,4].
- Weerstand tegen breuk (definitie 3.8): vooral van belang met het oog op afbreken van hoeken en randen van steenstukken.  
Beproeving: NEN 5185 (dynamische verbrijzelingswaarde). In het kader van CEN-normering is gekozen voor de druksterkte (norm voor beproeving in ontwikkeling).

- Weerstand tegen slijtage (definitie 3.9): van betekenis bij belasting door zand en steenstukken in golven en stromend water, maar vooral bij dynamische stabiele constructies.  
Beproeving: de natte micro-Devalproef, waarvoor een Franse norm bestaat en een CEN-proefbeschrijving wordt ontwikkeld. Door J.-P. Latham [3] is een duurzaamheidsmodel ontwikkeld, mede op basis van de door hem geïntroduceerde "millabrasion test".
- Weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen (definitie 3.10):  
Beproeving: NEN 5184 (een overeenkomstige CEN-proef is in voorbereiding).
- Weerstand tegen zoutkristallisatie (definitie 3.11): deze weerstand is van belang voor steen, toegepast direct boven de waterlijn van zout water in een warm klimaat.
- Onbestendigheid door zonnebrand (definitie 3.13): een mogelijk onder water niet optredende degradatie. Boven water kan het uiteenvallen reeds na enige weken tot soms pas na decennia optreden. De degradatie bestaat gewoonlijk uit sterkteverlies door het ontstaan van haarscheuren en vervolgens afbrokkeling. Soms treedt uiteenvallen van steenstukken in brokken op.  
Beproeving: NEN 5188 (een overeenkomstige CEN-norm is in voorbereiding).
- Overige onbestendighedsverschijnselen: er bestaan diverse onbestendighedsverschijnselen, waarop niet direct proeven en eisen zijn gericht. Als voorbeelden kunnen uiteenvallen door zwellende klei in breuksteen en mijnsteen en het vochtgevoelige mineraal kirschsteinit in koperslakken genoemd worden. Gewoonlijk falen materialen met dergelijke onbestendighedsverschijnselen ook in proeven die in standardeisen gevoerd worden voor andere onbestendighedsverschijnselen.
- Onbestendigheden in slakken (definities 3.14, 3.16, 3.17): hoogovenslakken worden in Nederland tot nu niet toegepast. Bij staalslakken leidt de dienaangaande onbestendigheid in bijzonder tot uiteenvallen in brokstukken.  
Beproeving: Standaard '95, proeven 16 (hoogovenslakken) en 118 (staalslakken) (overeenkomstige CEN-proeven zijn in voorbereiding).

#### Uitlooggedrag (definitie 3.12)

Het uitlooggedrag is van belang in verband met wettelijke bepalingen op dit gebied volgens het Bouwstoffenbesluit [2].

Toetsing geschiedt volgens de bij het Bouwstoffenbesluit betrokken nog te publiceren "uitvoeringsregeling".

#### Verkitting (definitie 3.15)

Verkitting kan optreden door fijn hydraulisch bindend materiaal zoals slakkenzand. Door verfijning van materiaal in een constructie bijvoorbeeld door afschuring kan fijn materiaal vrijkomen, dat in het geval van slakken bindend kan werken en daarmee tegelijk de holle ruimte tussen steenstukken kan verkleinen. Er ontstaat daardoor plaatwerking en een geringere doorlatendheid.

Beproeving: slechts ervaringskennis is beschikbaar en enige resultaten van druksterkteonderzoek.

#### Begroeibaarheid (definitie 3.18)

Begroeibaarheid is van belang voor de ontwikkeling van planten in en op de constructie, waarmee functies ten aanzien van natuurwaarden vervuld kunnen worden. Begroeiing kan het constructief gedrag beïnvloeden.

Beproeving: niet gestandaardiseerde proeven, ervaringskennis en onderzoek in situ.

#### Sub-sstraatgedrag voor dieren (definitie 3.19)

Wat voor begroeibaarheid is aangegeven geldt hier voor dieren.

## Literatuur

1. CROW. Standaard RAW Bepalingen 1995.
2. Ministeries van V & W en VROM. Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming. Staatsblad, 30 november 1995.
3. CUR. Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. CUR/CIRIA. CUR report 154, Gouda 1991.
4. Laan G.J. Het gebruik van steen in waterbouwkundige constructies. Stichting Postacademisch Onderwijs. Cursus "Toepassingen en dimensionering van steen in waterbouwkundige constructies, 1995.
5. Rijkswaterstaat, DWW. Structuur in eisen. Rapport MA-R-91009, mei 1991.
6. Scholten L.J. Structuur in eisen voor wegfunderingsmaterialen. Intron in opdracht van Stichting CROW. Rapportnummer 92210, februari 1994.
7. Nortier, I.W., Toegepaste Vloeistofmechanica, Stam Technische Boeken, Culemborg, 1961.
8. Technische Commissie Randvoorwaarden, Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 1994.
9. Wieringa, J. en P.J. Rijkooft, 1983, Windklimaat van Nederland, Klimaat van Nederland 2, KNMI De Bilt, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1983.



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu voor de weg- en waterbouw, die onderzoekt, adviseert en kennis overdraagt in de constructieve weg- en waterbouw, de natuur- en milieutechniek van fysieke infrastructuur, waterkeringen en watersystemen, en de grondstoffenvoorziening voor de bouw, inclusief de milieu-aspecten.

Meer exemplaren van deze publikatie kunnen worden besteld bij:

Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat,  
Van der Burghweg 1, Postbus 5044, 2600 GA DELFT,  
telefoon (015) 2699111

ISBN 90-369-3716-7

DWW-PUBLICATIE-P-DWW-96-056