

Rijswaterdienst

un/E
(un/0)

Mr. H. W. van der...

Kwaliteit en kwaliteitscontrole
van breuksteen voor de waterbouw

MAW-R-81054
WKE-R-82002

Getien	3	R 0	
Ingekomen		19 NOV 1982	
Te beh. door:	VR	vd	30
Behandeld:			

VR vd 30
overhef

(70) 82477

BAGGERMAATSCHAPPIJ BOSKALIS B.V.
BIBLIOTHEEK
POSTBUS 43
3350 AA PAPENDRECHT
NETHERLANDS

WKE-R-82002

De Werkgroep Keuring Bouwstoffen voor de Waterbouw is ingesteld in 1976. Het werk is verdeeld over drie groepen die elk een bepaald gebied behandelen. Groep I behandelt de toepassing van steen en steenachtige materialen.

Groep I bestaat uit de volgende permanente deelnemers:

Ing. G.J. Laan	Wegbouwkundige Dienst
Ir. H. Schram	Wegbouwkundige Dienst (voorzitter)
Ir. W. Bandsma	Wegbouwkundige Dienst
Ir. T. van der Meulen	Waterloopkundig Laboratorium
Ing. J.M. van Westen	Deltadienst
H.J. van Koevinge	Deltadienst
Ing. W.J. Hoogenraad	Deltadienst (secretaris)
Ing. K.A.G. Mouw	Deltadienst
C.W. Schippers	Deltadienst
Ing. J.A.J. Hoos	Deltadienst

wegbouwkundige dienst
road engineering division

Dosbouw v.o.f.
t.a.v. Ing. D. von Eugen
Postbus 5003

4328 ZV Burgh-Haamstede

un/E

6667.

uw kenmerk:
uw brief van:
onderwerp: toezending rapport

delft, 11 november 1982
ons kenmerk: WKE-B-82014
verzonden: 1982 11 16
bijlagen: een

Hierbij doe ik u ter kennisneming het rapport MAW-R-81054/WKE-R-82002 toekomen betreffende "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de Waterbouw".

Dit rapport is door ing. G.J.Laan van de afdeling Waterbouwmaterialen van de Wegbouwkundige Dienst opgesteld onder verantwoordelijkheid van de Werkgroep Keuring Bouwstoffen voor de Waterbouw, groep I (WKE), bestaande uit medewerkers van de Deltadienst en de Wegbouwkundige Dienst van Rijkswaterstaat.

In dit rapport zijn van een periode van ruim 5 jaar de resultaten van onderzoek naar eigenschappen, produktiemogelijkheden, bemonsterings- en beproevingsmethoden voor breuksteen en verder de ervaringen met kwaliteitszorg in de praktijk verwerkt.

Met nadruk wijs ik erop, dat de op grond van één en ander in het rapport geformuleerde voorstellen voor eisen, besteksbepalingen en (proef)voorschriften wel de visie vormen van genoemde werkgroep WKE, maar nog niet officieel zijn goedgekeurd; in afwachting daarvan raad ik u aan bij eventueel gewenst gebruik van deze bepalingen altijd contact op te nemen met de afdeling Waterbouwmaterialen van de WBD.

Het leek mij zinnig u van één en ander kennis te laten nemen gezien uw betrokkenheid met deze materie; mochten hier opmerkingen of vragen van uw kant uit voortvloeien, dan zijn deze bij de werkgroep WKE (secretaris ing. W.J.Hoogenraad, Deltadienst, Havenplateau Burghsluis, Postbus 5002, 4328 ZV Burgh-Haamstede), of de opsteller van het rapport uiteraard welkom.

De coördinerend voorzitter
van de werkgroep Keuring
Bouwstoffen voor de Waterbouw

ir. H. Schram

2600 GA delft
postbus 5044

van der burghweg
tel. (015) 569307
telex 38043

bereikbaar vanaf station ns
met buslijn 63, uitstappen
halte na tno



Kwaliteit en kwaliteitscontrole
van breuksteen voor de waterbouw

MAW-R-81054

WKE-R-82002

Rapport uitgebracht door Werkgroep I voor keuring van bouwstoffen
voor de waterbouw (steenmaterialen, slakken en kunststoffilters)

Rapporteur: Ing. G.J. Laan

Delft, september 1982

Inhoud

bladzijde

1. Inleiding	1
2. Soorten natuursteen voor de Nederlandse waterbouw.	3
2.1. Soorten natuursteen.	3
2.2. Natuursteen voor de Nederlandse waterbouw	5
3. Produktie en transport van steensorteringen.	7
3.1. De winning van breuksteen.	7
3.2. De produktie van steensorteringen.	8
3.2.1. Zware steensorteringen.	8
3.2.2. Lichte steensorteringen.	10
3.2.3. Fijne steensorteringen.	12
3.3. Transport en overslag.	13
3.3.1. Transport- en overslaghandelings.	13
3.3.2. Aanbevelingen.	17
4. Gebreken en verontreinigingen	19
5. De sterkte van breuksteen.	23
6. De bestandheid tegen verwerking.	29
7. De vorm van de steenstukken.	31
7.1. Het belang voor de waterbouw.	31
7.2. De factoren, die de vorm bepalen.	31
7.3. Vormbeschrijving en eisen.	32
8. Dichtheid en wateropneming.	34
9. Sorteringen breuksteen.	37
9.1. De situatie in Nederland.	37
9.2. De situatie in het buitenland.	38
9.3. Sorteringen voor de Nederlandse waterbouw.	40
9.3.1. Zware steensorteringen.	40
9.3.2. Lichte steensorteringen.	45
9.3.3. Fijne steensorteringen.	48
10. De relatie tussen de korrel- en de massaverdeling.	51
11. De relatie tussen ontwerpregels en aan breuksteen te stellen eisen.	53
11.1. Diameter en dikte van steenstukken.	53
11.2. De relatie tussen \bar{M} en M_{50} .	53
11.3. Weerstand tegen stroming.	54
11.4. Weerstand tegen golfaanvallen.	55
11.5. Aan filterconstructies te stellen eisen.	57

Inhoud

bladzijde

12. De relaties tussen de dichtheid en de benodigde hoeveelheden steen.	60
12.1. Breuksteen als ballast.	60
12.2. Breuksteen als vulling.	61
12.3. Breuksteen in filterlagen.	61
12.4. Breuksteen als bescherming tegen stroming.	63
12.5. Breuksteen als bescherming tegen golfaanvallen.	63
13. Kwaliteitscontrole van breuksteen.	65
13.1. Systemen voor kwaliteitscontrole.	67
13.1.1. Keuren van aangevoerde ladingen.	67
13.1.2. Keuren bij de producent.	69
13.1.3. Een combinatie van keuren bij produktie en keuren na aanvoer.	69
13.1.4. Levering onder een garantiemerck.	70
13.1.5. Uitvoering van de kwaliteitscontrole.	71
13.2. Besteksbepalingen	73
13.2.1. Keuringseisen breuksteen.	75
13.2.2. Keuring na aanvoer.	78
13.2.3. Keuring bij een vooronderzoek.	83
13.2.4. Keuring tijdens de produktie door de directie.	85
13.2.5. Keuring tijdens de produktie door de producent.	88
13.2.6. Keuringen voor een partij breuksteen.	88
13.3. Uitvoering en betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole.	91
13.3.1. De bemonstering van breuksteen.	91
13.3.2. De bepaling van afmetingen en de massa van steenstukken .	95
13.3.3. De betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole.	96

Appendix

1. De variatie van de weerstand tegen stroming per sortering.	100
2. De variatie van de weerstand tegen golfaanvallen per sortering.	101
3. De invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid breuksteen in filterlagen .	102
4. Lotingstabellen .	103
5. Bepaling van de korrelverdeling.	104
6. Bepaling van de massaverdeling .	105
7. Bepaling van de vorm van steenstukken.	105
8. Bepaling van de dynamische verbrijzelingswaarde .	106
9. Overige proeven voor breuksteen.	106
Literatuur	107
Lijst met symbolen	109

Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw

1. Inleiding.

Per jaar worden gewoonlijk in Nederland honderdduizenden tonnen steen verwerkt in waterbouwkundige constructies. Dit betreft onderhoud en nieuwe werken, exclusief de incidentele zeer grote waterbouwkundige constructies zoals de Deltawerken.

Deze breuksteen bestaat uit diverse soorten natuursteen in een breed scala sorteringen van fijn tot zeer zwaar.

Onder breuksteen wordt gebroken natuursteen verstaan. De ook wel gebruikte tarm stortsteen heeft een meer beperkte betekenis en duidt op een wijze van verwerken in de constructie. Dit rapport handelt over de kwaliteit en keuring van breuksteen. Er wordt geen aandacht besteed aan andere natuursteen dan breuksteen, zoals basaltzuilen of tot geometrische vormen bewerkte natuurstenen blokken, die als zetsteen worden toegepast. Deze steensoorten worden in de waterbouw nog maar weinig toegepast ten gevolge van de hoge prijzen, veroorzaakt door het arbeidsintensieve produktieproces.

Over de kwaliteit van breuksteen bestaan veel misverstanden en gebrek aan kennis.

De misverstanden worden veroorzaakt door onvoldoende kennis van elkaars vakgebied van de betrokkenen bij de toepassing van breuksteen in de waterbouw. Deze betrokkenen zijn producenten, leveranciers, ontwerpers, bestek-schrijvers, aannemers, directie-voerenden en de eventueel aanwezige keuringsdiensten.

De onvoldoende kennis wordt mede in de hand gewerkt door het grotendeels ontbreken van genormaliseerde kwaliteitsaanduidingen van sorteringen breuksteen. Zo kan een ontwerper, van een sortering met een min of meer toevallige of historisch gegroeide aanduiding van de grofheid, een sterk van de realiteit afwijkende voorstelling hebben. Door gebrek aan kennis van de produktiemogelijkheden worden sorteringen besteld, die niet gemaakt kunnen worden!

Door ontbreken van standaardisering en een groot gebrek aan afspraken wordt een zodanig groot scala van sorteringen besteld, dat daaraan door de producenten niet beantwoord kan worden of onjuiste sorteringen geleverd worden. Door het ontbreken van objectieve normen en richtlijnen voor keuringen, geeft kwaliteitsbeoordeling tenslotte veelal een zeer subjectief, onbetrouwbaar of onjuist resultaat, hetgeen tot willekeur leidt met betrekking tot goed- of afkeuren.

In dit rapport wordt informatie gegeven over de kwaliteit van breuksteen, over productie-technische mogelijkheden en over ontwerp-kundige aspecten. Er worden keuringssystemen en -methoden behandeld. Met betrekking tot kwaliteit en keuring worden besteks-bepalingen gegeven. Er worden tevens standaard-sorteringen voorgesteld.

Dit rapport is bedoeld als aanzet om tot herziening van bestaande normbladen te komen en tot vaststelling van nieuwe realistische voorschriften en richtlijnen betreffende de kwaliteit en keuring van breuksteen voor waterbouwkundige toepassingen.

2. Soorten natuursteen voor de Nederlandse waterbouw.

2.1. Soorten natuursteen.

Door variatie in chemische samenstelling en wordingsgeschiedenis bestaat er een zeer grote verscheidenheid in steensoorten. Uit de in figuur 1 afgebeelde geologische cyclus van de aarde blijken de hoofdgroepen gesteenten: stollingsgesteenten (dieptegesteenten, vulkanische of uitvloeïngsgesteenten), sedimentgesteenten en metamorfe gesteenten.

Stollingsgesteenten.

Stollingsgesteenten ontstaan door afkoeling van vloeibare magma (gesteentesmelt).

Dieptegesteenten.

Als magma in grote hoeveelheden in de onderste delen der aardkorst binnendringt, stolt het langzaam tot een gelijkmatig grofkorrelig gesteente. Door de zeer langzame afkoeling onder de geweldige deklagen kunnen de mineralen goed uitkristalliseren en krijgen ze een korrelgrootte, die met het blote oog duidelijk te herkennen is.

De gesteenten zijn zeer compact en hebben slechts een gering poriënvolume. De voornaamste vertegenwoordigers van de dieptegesteenten zijn: graniet, syeniet, dioriet, gabbro en peridotiet. In de genoemde volgorde worden de steensoorten steeds donkerder van kleur en neemt de dichtheid toe.

Ganggesteenten.

Als overgang tussen diepte- en uitvloeïngsgesteenten onderscheidt men ganggesteenten. Afhankelijk van de snelheid van afkoeling kunnen ganggesteenten zowel de structuur van dieptegesteenten als van uitvloeïngsgesteenten vertonen, maar ook een combinatie van beide structuren, zoals bij graniet porfier. De grondmassa van dit gesteente is die van een fijnkorrelige graniet. Het gesteente heeft echter de typisch porfierische structuur van uitvloeïngsgesteenten door de grote kristallen (fenokristen), die in de grondmassa voorkomen.

Uitvloeïngsgesteenten.

Uitvloeïngsgesteenten ontstaan als heet vloeibaar magma uit de diepte van de aarde met behulp van vulkanische krachten opstijgt tot aan het oppervlak en daar afkoelt.

Wanneer deze magmatische smelt uit een vulkaankrater of uit een spleet

direct over het aardoppervlak uitstroomt, ontstaat lava. Indien brokken magma samen met resten van de vroegere kraterpijpvulling of het nevengesteente de lucht ingeslingerd worden en daarna tot afzetting komen, dan ontstaan tuffen.

Het eigenlijke verschil tussen uitvloeïings- en dieptegesteenten is de structuur. Uitvloeïingsgesteenten stollen veel sneller dan dieptegesteenten en daardoor zijn de kristallen in het algemeen klein, zelfs microscopisch klein. In deze grondmassa komen grote kristallen voor. Deze structuur heet porfierisch.

In volgorde van toenemende dichtheid worden de volgende uitvloeïingsgesteenten genoemd: kwartsporfier, porfieriet, andesiet, melafier, diabaas, basalt en doleriet.

Sedimentgesteenten.

Naar ontstaanswijze worden drie groepen sedimenten onderscheiden: klastische of detritische sedimenten (mechanische oorsprong), chemische sedimenten en organische sedimenten. Sedimentgesteenten worden vooral gekenmerkt door een duidelijke gelaagdheid. Sedimenten, die ontstaan zijn uit de gesteenteresten van mechanische verwerking noemt men klastische, detritische of gruisgesteenten. Voorbeelden hiervan zijn: kleischalie, breccie (vastgeworden puin), conglomeraat (vastgeworden grind), zandsteen en grauwacke.

Door chemische verwerking worden gesteenten afgebroken en gaan de chemische componenten deels in oplossing. Bij bronnen, meren en in de zee ontstaan door uitvlokking of kristallisatie uit oververzadigde oplossingen hieruit weer gesteenten, zoals travertijn, dolomiet, vuursteen en kalksteen.

Tot de gesteenten van organische oorsprong, de zogenaamde organogene sedimenten, behoren bruinkool en steenkool, maar ook de uit opeengehoopte skeletten van verschillende zee-organismen opgebouwde kalksteen.

Metamorfe gesteenten.

Metamorfe gesteenten ontstaan door omvorming (metamorfose) van bestaande gesteenten onder grote druk en bij hoge temperatuur. Bij de metamorfose treedt structuurverandering op en rekristallisatie met of zonder toevoer van stof. Door de eenzijdige druk ontstaat veelal een parallelstructuur (leisplijting). Voorbeelden van metamorfe gesteenten zijn: gneis, lei (ontstaan uit klei of kleischalie), kwartsiet (ontstaan uit kwartsrijk zand), eklogiet (ontstaan uit gabbro of mergel) en amfiboliet (ontstaan uit basalt, gabbro, peridotiet of kalkarme mergelklei).

2.2. Natuursteen voor de Nederlandse waterbouw.

Voor het voorzien in de steenbehoefte voor de waterbouw is Nederland geheel aangewezen op het buitenland. De prijs van breuksteen is sterk afhankelijk van de transportkosten en daarmee van de afstand van de produktie- tot de verwerkingsplaats en van het type vervoer.

Voor werken, waarvoor kleine of middelgrote hoeveelheden breuksteen nodig zijn, wordt gewoonlijk steen uit groeven in België of West-Duitsland aangevoerd. Deze groeven liggen bij of niet te ver van verlaadplaatsen aan de Maas in België en aan de Rijn tot de omgeving van Darmstadt. De grootste afstand over de weg van een groeve tot de meest nabije verlaadplaats aan de rivier is momenteel ongeveer 50 km.

De Belgische groeven, waaruit veel steen betrokken wordt, betreffen aan de Maas gelegen kalksteengroeven. Dit sedimentgesteente betreft de zogenaamde kolenkalksteen uit het pre-carboon. De leverbare breuksteen betreft fijne en lichte sorteringen (zie 9.3). Uit een porfiergroeve in België (Quenast) kunnen zeer zware steensorteringen verkregen worden.

In het Westerwald en het Eifelgebergte liggen basaltgroeven die voor Nederland van belang zijn. De zuilen kunnen in diameter variëren tot een grootte van enkele meters. De diameter van de zuilen bepaalt welke grofste sortering uit de groeve verkregen kan worden.

In de Eifel ligt ook een basaltlavagroeve. Basaltlava heeft een iets mindere dichtheid dan basalt.

Bij Bingen ligt een grauwackegroeve, waaruit steen tot en met de sortering 10-60 kg naar Nederland wordt aangevoerd.

Bij Darmstadt liggen enkele gabbrogroeven en een granietgroeve, die voor levering aan Nederland in aanmerking komen van lichte en zware sorteringen (zie 9.3).

De factoren, die bepalend zijn voor het in aanmerking komen van een steengroeve voor levering in Nederland, betreffen de kwaliteit van het gesteente, de prijs en de produktiecapaciteit.

De kwaliteit kan de dichtheid betreffen, de sterkte, de gewenste sortering, soms zelfs de kleur van het gesteente etc.

De prijs is onder andere afhankelijk van de produktiekosten, en de transportkosten. Het transport betreft het vervoer in de groeve, naar de verlaadplaats, van de verlaadplaats naar de losplaats en van daaruit via eventuele tussendepots naar het werk.

De produktiecapaciteit is vooral voor grote steenleveringen van belang, omdat de opdrachtgever dan doorgaans de opdracht over niet meer dan slechts enkele producenten wil verdelen.

Voor de uitvoering van de Deltawerken en havenwerken bij IJmuiden en Hoek van Holland zijn miljoenen tonnen breuksteen toegepast van zeer fijne sorteringen tot en met de sortering 20-25 ton. Voor de levering voor deze werken kwam ook levering uit landen in het noorden en westen van Europa in aanmerking, waarbij transport over zee moest plaats vinden. Bij de overzee aangevoerde steen werd aan de drie volgende voorwaarden voldaan: een geringe transport-afstand tussen de groeve en de verlaad-haven, transport in grote eenheden (schepen of pontons) en lossing bij het uit te voeren werk hetgeen de aanwezigheid van diep vaarwater vereiste.

In principe kwam voor levering van overzee breuksteen uit de volgende landen in aanmerking: Portugal, Frankrijk, Engeland, Schotland, Noorwegen, Zweden en Finland. Materialen uit deze landen zijn onderzocht.

In werkelijkheid is breuksteen uit de volgende landen aangevoerd:

- noriet (een soort gabbro) per schip uit Noorwegen;
- graniet en diabaas per schip uit Zweden;
- diabaas en graniet per ponton uit Finland;
- porfier per trein uit België (Quenast);
- basalt per binnenschip uit Duitsland.

3. Produktie en transport van steensorteringen.

Breuksteen voor de waterbouw wordt geproduceerd in steengroeven. Deze groeven zijn veelal primair gericht op de produktie van fijne steensorteringen voor de wegebouw en beton. De afzet van deze materialen kan dan bepalend zijn voor de hoeveelheid steen, die voor de waterbouw geproduceerd kan worden zonder opslag van fijn materiaal.

Anderzijds is het voor een groeve aantrekkelijk grove steensorteringen voor de waterbouw te leveren, omdat dit energie bespaart voor het breken van dit grove materiaal tot fijne steensorteringen.

In het algemeen zal men in een groeve het afzetten van een zodanig scala van sorteringen en hoeveelheid per sortering nastreven, dat enerzijds met een minimum aan breek- en springenergie volstaan kan worden en anderzijds materiaalverlies en langdurige opslag zoveel mogelijk worden beperkt.

3.1. De winning van breuksteen.

Vóór het winnen van steen worden de begroeiing, de bovengrond en eventueel aanwezige ongeschikte steenachtige lagen of steenlagen verwijderd. In een rij evenwijdig aan de verticale groevewand worden gaten geboord. De afstand tot de groevewand en de onderliggende afstand van de boorgaten kan van enkele meters tot ongeveer 5 m variëren. Ook worden soms aan de voet van de groevewand horizontale gaten geboord. In de boorgaten wordt springstof aangebracht, die in hoeveelheid per m kan variëren. Bij het springen wordt nagesteeft, dat het gesteente met een optimale grofheid vrijkomt en dat een voldoende vlakke groevobodem ontstaat. Veelal wordt steen op diverse boven elkaar gelegen terrassen gewonnen uit wanden, die een hoogte van ongeveer 10 tot 30 m kunnen hebben.

De grofheid van het gesprongen gesteente is afhankelijk van veel factoren zoals:

- de dichtheid van het boorpatroon;
- de zwaarte en verdeling van de springladingen;
- de soort springstof;
- de gelaagdheid of het breukpatroon in de steenformatie;
- de richting van de gelaagdheid, hoofdbreukrichtingen of de basaltzuilen ten opzichte van de richting van de boorgaten.

In de gesprongen steenmassa voor de nieuw ontstane wand varieert veelal de grofheid van het materiaal afhankelijk van de wijze van springen. Tengevolge hiervan kan de kwaliteit (massaverdeling) van de gewonnen sortering fluctueren.

Indien na het springen steenstukken voorkomen, die zwaarder zijn dan de zwaarste leverbare steenstukken of de zwaarste steenstukken, die met een brekerinstallatie gebroken kunnen worden, dan kunnen deze steenstukken

op de volgende wijzen verfijnd worden:

- Met een slaghamer bevestigd aan een kraanarm. Op deze wijze kunnen steenstukken, die nog relatief klein en niet zeer sterk zijn, gebroken worden.
- Door "naspringen" met springstof in kleine boorgaten.
- Door splijtkracht uit te oefenen met behulp van stalen keggen in een rij kleine boorgaten. Op de keggen wordt met een zware hamer geslagen.
- Volgens een onlangs ontwikkelde methode, waarbij met grote kracht een hoeveelheid water in een boorgat wordt "geschoten". Hierbij ontstaat een kortstondige radiale druk van ongeveer $0,1 \text{ MN/m}^2$, waardoor het steenstuk splijt.

3.2. De produktie van steensorteringen.

Er zijn in principe twee methoden gebruikelijk voor de selectie van steensorteringen: selectie op grond van visuele beoordeling van de massa van elk steenstuk en selectie door zeven, waarbij ook de brekeropening de grofheid kan begrenzen. Naar massa of zeefmaat worden de volgende groepen steensorteringen onderscheiden: zware steensorteringen, lichte steensorteringen en fijne steensorteringen.

3.2.1. Zware steensorteringen.

De selectie van de zware steensorteringen gebeurt aan de groevewand direct uit het gesprongen steenmateriaal. Eventueel wordt eerst met bijvoorbeeld een zware lepelkraan het steenmateriaal verder vrijgemaakt en al enigszins voorgesorteerd. Met een kraan met een poliepgrijper worden de steenstukken visueel naar grootte geselecteerd. De lichte sortering, die op deze wijze geproduceerd wordt is de sortering: 60-300 kg. Zeer zware sorteringen met steenstukken zwaarder dan ongeveer 3 ton, worden wel geselecteerd door gebruik te maken van ander laadgerei zoals wielladers. Ook worden steenstukken zwaarder dan ongeveer 6 ton, wel voorzien van een stalen hijssoog indien transport met binnenvaartschepen plaatsvindt, omdat er in het ruim van het schip (te) weinig manoeuvreerruimte is voor de omvangrijke grijper. Dit kan ook gewenst zijn, indien de laadkranen onvoldoende hefvermogen hebben om het zware steenstuk inclusief de massa van een grijper te hijsen. Voor zeer zware steenstukken moet hier een zware mobiele kraan ingezet worden.

Als hulpmiddel voor een goede selectie kunnen steenstukken fungeren, die massa's hebben, die overeenkomen met de sorteringsgrenzen.

Per sorteringsgrens kunnen hiertoe enkele steenstukken met sterk verschillende vormen, voorzien van de massa-aanduiding, in de groeve opgesteld worden.

Door het terugkoppelen van de keuringsresultaten naar de selectie, wordt eveneens een goede selectie sterk bevorderd.

De nauwkeurigheid waarmee geselecteerd wordt hangt mede af van de grootte van de grijper en soms ook van de grootte van het hefvermogen. Indien het hefvermogen ongeveer overeenkomt met de bovengrens van de sortering wordt daardoor de overschrijding van de bovengrens beperkt. Dit geldt ook voor de grootte van de grijper. De produktiecapaciteit is groter naar mate in één greep meerdere steenstukken opgenomen kunnen worden. De selectienauwkeurigheid neemt echter af naarmate in één keer meer steenstukken geselecteerd worden.

Het voorgaande is er de oorzaak van, dat de sortering 60-300 kg de lastigste sortering is om met een poliepgrijper te selecteren. Bij druk op de produktie met betrekking tot hoeveelheid kan de kwaliteit in het gedrang komen en omgekeerd.

Er kunnen als hulpmiddel bij de selectie van zware steensorteringen diverse typen weegsystemen in de kraan ingebouwd worden, zoals:

- Een mechanisch systeem, zoals bij een unster. De aflezing kan eventueel, met behulp van de electronica, in de kraancabine mogelijk gemaakt worden. Hierbij gelden zeker dezelfde beperkingen en bezwaren als voor een elektronische trekdoos (zie verder).
- Een elektronisch systeem gebaseerd op de meting van de oliedruk van het hydraulisch hefsysteem. Dit systeem werkt zeer nauwkeurig, omdat bepaalde standen van de kraan, de hijsarm e.d. precies ingesteld zouden moeten worden voor een nauwkeurige meting, wat te veel tijd kost. Bovendien kan de variatie van de ligging van het zwaartepunt van de steenstukken ten opzichte van het hef-mechanisme bij gebruikmaking van bijvoorbeeld een wiellader niet voldoende ondervangen worden.
- Een elektronisch systeem gebaseerd op rekstrookjes (druk- of trekdozen). In de draad van een kraan kan gemakkelijk een trekdoos ingebouwd worden. Meestal wordt een poliepgrijper of ander grijpersysteem zonder draad direct aan de kraanarm verbonden, waardoor een snellere en betere manoeuvreerbaarheid bereikt wordt. Een bij het scharnier boven de grijper te installeren trekdoos moet hierbij sterk overgedimensioneerd zijn om de grote stootkrachten op te kunnen vangen, waardoor de nauwkeurigheid van de weging beperkt wordt.

Bezwaren, die in het algemeen kleven aan weegsystemen in het hefgereedschap, dat voor de produktie wordt ingezet zijn:

- meer of mindere kwetsbaarheid van het systeem;
- beperkte nauwkeurigheid, zodat de weegresultaten alleen als hulpmiddel bij de produktie kunnen dienen en niet voor de kwaliteitse controle;
- benodigde tijd voor de weging. Men kan dit bezwaar verkleinen door slechts incidenteel, bijvoorbeeld bij twijfel te wegen.

Een weegmechanisme in het hefwerktuig, waarmee vrachtwagens voor transport van zeer zware steensorteringen over de weg beladen worden, zou het voordeel bieden dat de vrachtwagens optimaal beladen zouden kunnen worden rekening houdend met de toegestane ladinggrootte.

Controle op een weegbrug leidt tot een omslachtiger en meer tijdrovende eventuele aanpassing van de ladinggrootte.

Tot nu toe is gebleken, dat het elektronische meetprincipe bij selectie van zware steensorteringen met een kraan, een goed bruikbaar hulpmiddel kan zijn.

Bij de selectie van de zware steensorteringen dient tevens gelet te worden op het voorkomen van gevaarlijke scheuren. Na-selectie hierop kan eventueel ook nog bij belading uit een depot plaatsvinden. Dit geldt ook voor de massaverdeling. Bij de selectie kan controle op gevaarlijke scheuren visueel gebeuren, maar ook door de steenstukken van enige hoogte te laten vallen. Afhankelijk van het breuksysteem en de mate van voorkomen van springscheuren kan deze werkwijze zelfs min of meer noodzakelijk zijn.

In het algemeen geldt, dat een goede selectie van zware steensorteringen bereikt kan worden na een goed begeleide leerperiode, waarin de kwaliteit geleidelijk toeneemt. Doorgaans kost dit wel enkele weken.

3.2.2. Lichte steensorteringen

Onder lichte steensorteringen worden de sorteringen verstaan, waarvan de grofheid in eenheden van massa wordt aangegeven en die geproduceerd worden door zeven en eventueel breken. Het betreft de sorteringen 5-40 kg, 10-60 kg en 60-300 kg. De laatstgenoemde sortering wordt zoals gezegd ook wel geproduceerd door selectie met een kraan met een poliepgrijper. De bovengrens van de sorteringen wordt veelal bepaald door de grootte van de breker-opening. De ondergrens van de sortering is afhankelijk van een zeefproces.

De volgende produktiewijzen komen voor (figuur 2):

- De produktie van 5-40 kg of 10-60 kg met een breker en een zeef. Dit komt het meeste voor.
- De produktie van 10-60 kg of 60-300 kg met één rooster of zeef. Dit is mogelijk bij zuilenbasalt met een zodanige grofheid, dat de bovengrens voldoet aan de eisen voor de betreffende sortering. Soms is enige naselectie nodig op te grove of te lange steenstukken. Dit kan gedaan worden met een polieprijper of door het stukslaan van te zware stukken.
- Het met één zeefinstallatie produceren van 10-60 kg en 60-300 kg of alleen 60-300 kg. De bovengrens van de 60-300 kg wordt dan door een breker of door een zeef bepaald.

De breker die in het voorgaande genoemd is betreft de primaire breker in de groeve. Dit is een kaakbreker met een breekvermogen van steenstukken met een massa tot maximaal ongeveer 3 ton.

Het gesprongen materiaal wordt gewoonlijk met steendumpers naar de breekinstallatie vervoerd. Het steenmateriaal wordt in een trechtersvormig gat gestort en van daaruit met een "feeder" naar de breker toegevoerd. De breker bestaat uit twee stalen platen, die met twee verticale zijschotten een trechter vormen. De brekerplaten hebben meestal een getand oppervlak. Dit is in elk geval noodzakelijk voor het breken van een sterk gesteente. Eén plaat beweegt heen en weer. Deze beweging is afhankelijk van de grootte van de breker en bedraagt maximaal ongeveer 40 mm. De brekeropening is verstelbaar. Hiermee kan de grofheid van de sortering geregeld worden. Door slijtage van de brekerplaten verandert de grofheid van de sortering. De invloed hiervan kan beperkt worden door de brekerplaten niet gelijktijdig te vernieuwen of om te draaien (de onderzijde slijt veel sneller dan de bovenzijde). Op deze wijze komt ook minstens aan één zijde een relatief scherp getande plaat voor, waardoor de benodigde breekenergie beperkt blijft. Een brekerplaat gaat zeker enkele jaren mee.

De zeefinstallatie bestaat bijna altijd uit een vóórzeef en één of enkele hoofdzeven. Dit laatste is het geval bij de produktie van meerdere sorteringen of bij zeving zonder voorafgaande breking. De vóórzeef bestaat uit een stalen plaat met ronde of vierkante openingen, waarmee het fijnste materiaal wordt verwijderd. De hoofdzeef bestaat uit stalen T-profielen, waarvan de doorlaatopeningen tussen de flenzen van het begin naar het einde iets groter worden om te voorkomen, dat steenstukken vast blijven zitten tussen de flenzen. De zeef heeft een lichte helling. Door trilmotoren wordt de op stalen veren

rustende zeef in trilling gebracht. De richting en grootte van deze trilling en de helling van de zeef bepalen de snelheid, waarmee het materiaal over de zeef beweegt.

Vooraf wanneer nogal wat platte steenstukken voorkomen worden op de flenzen van de zeefprofielen nokken gelast om het kantelen van deze steenstukken te bevorderen.

De afstand tussen de flenzen van de zeefprofielen bepaalt in principe de grofheid, waarop wordt afgezeefd.

De zeefnauwkeurigheid is nogal matig, omdat de correlatie tussen de dikte van een steenstuk en de massa niet groot is.

De volgende factoren beïnvloeden de nauwkeurigheid van het afzeven:

- De snelheid waarmee het materiaal over de zeef verplaatst wordt.
- De afmetingen van de zeef.
- De variatie van de openingen tussen de diverse profielen.
- De grootte van het aanbod op de zeef.
- De slijtage van de zeef.
- De grootte van de variatie van de vorm van de steenstukken.
- Het voorkomen van nokken op de flenzen.

De slijtage van de zeef wordt beperkt door het aanbrengen van lasrupsen van zeer slijtvast materiaal op de zijkant van de flenzen.

Na het zeven wordt de sortering in een half-kegelvormig depot gestort of via een transportband in een groot kegelvormig depot gebracht.

Onder een rooster wordt een zeef verstaan, die niet in een trillende beweging wordt gebracht. Afgezien daarvan kan van het rooster hetzelfde gezegd worden als van de zeef. Het te sorteren materiaal wordt met een lepelkraan of wiel-lader op het rooster gestrooid. De geproduceerde sortering valt over een hoogte van maximaal enkele meters in een tussendepot. Met een wiel-lader wordt de sortering en het fijne afgezeefde materiaal op vrachtwagens geladen.

De selectienauwkeurigheid, die met een rooster bereikt kan worden is geringer dan met een zeef gehaald kan worden. Daarom is deze produktiemethode minder geschikt wanneer veel fijn materiaal moet worden afgezeefd.

3.2.3. Fijne steensorteringen.

Fijne steensorteringen zijn sorteringen waarvan de grofheid in zeefmaten wordt aangegeven. De sorteringen worden geproduceerd met breek-zeefinstallaties. Ook kunnen sorteringen uit zeeffracties samengesteld worden.

De zeven bestaan hier gewoonlijk uit stalen platen met vierkante zeefgaten. Zonodig wordt een zeefplaat vervangen door een zeefplaat met andere gat-afmetingen. De zeven worden getrild.

De zeefnauwkeurigheid is, behalve datgene wat over de zeefopeningen opgemerkt is, van dezelfde factoren afhankelijk als genoemd zijn voor de zeven voor lichte steensorteringen.

De grofste zeefmaat, die toegepast wordt voor fijne steensorteringen is 300 mm. In figuur 3 is het schema getekend van een breek-zeefinstallatie voor de produktie van fijne steensorteringen voor de waterbouw en voor wegbouwkundige toepassingen.

De zeeffracties vallen via een glijgoot of transportband in tussendepots of in silo's. De zeeffracties kunnen als afzonderlijke steensorteringen geleverd worden of gemengd. De menging kan uitgevoerd worden door bijvoorbeeld vrachtwagen-ladingen met een wiellader uit depots van enkele fracties in een bepaalde meng-verhouding te laden. Soms is een opslag van de fracties in silo's mogelijk, die van een doseerinstallatie zijn voorzien.

In dit geval is de samenstelling van enkele fracties zeer nauwkeurig mogelijk.

3.3. Transport en overslag.

Nadat de steen geproduceerd is kunnen nog zeer veel handelingen voor transport en overslag nodig zijn, voordat de steen in de waterbouwkundige constructies wordt verwerkt. Omdat deze handelingen grote invloed kunnen hebben op de kwaliteit van een steensortering wordt hierna een beschouwing gewijd aan overslag en transport, waarbij vooral de aandacht gericht is op de kwalitatieve aspecten van de steensorteringen.

3.3.1. Transport- en overslaghandelingen

De volgende handelingen kunnen voorkomen tussen produktie en aangebracht zijn in de constructie (figuur 4):

- a. Opnemen uit een tussendepot en in een groot depot in de groeve brengen.
- b. Verladen uit het (tussen-)depot in de groeve en in een depot brengen op de verlaadplaats voor verlading naar Nederland.
- c. Verladen voor transport naar Nederland.
- d. Lossen in een depot.
- e. Verladen uit een depot en overslaan op een transportmiddel naar het werk.
- f. Aanbrengen in het werk.

- ad a. Opnemen uit een tussendepot en in een groot depot in de groeve brengen. Zware sorteringen zullen doorgaans, direct bij het selecteren aan de groevewand op vrachtwagens of steendumpers geladen worden en in een depot in de groeve of aan de haven gebracht worden. Ook is bij zeer zware steenstukken transport van de groevewand naar een nabij gelegen depot mogelijk. Lichte of fijne steensorteringen kunnen met een transportband direct in een groot depot in de groeve gebracht worden (figuur 2) of vanuit een tussendepot met een wiellader op vrachtwagens verladen worden voor transport naar de haven of een depot in de groeve. Dit laatste gebeurt bij kleine transportafstanden zonder verlading op vrachtwagens. Fijne sorteringen worden ook wel met transportbanden direct in silo's gebracht.
- ad b. Verladen uit het (tussen)depot in de groeve en in een depot brengen op de verlaadplaats voor verlading naar Nederland. Een depot op de verlaadplaats kan de tijd voor belading verkorten. Dit hangt onder andere af van de rijafstand van de groeve naar de verlaadplaats en de daarbij beschikbare transportcapaciteit. Depots aan de haven vergroten tevens de depotcapaciteit van een groeve. Het aantal en de grootte van de depots aan de haven zijn begrensd door het beschikbare oppervlak, door de depotcapaciteit onder kraanbereik en door de economische rijafstand met wielladers.
- ad c. Verladen voor transport naar Nederland. Transport naar Nederland gebeurt meestal per binnenschip of zeegaand vaartuig. Soms is transport per trein uitgevoerd. Bij levering van meer sorteringen moet, in verband met het gevaar voor vermenging, per schip niet meer dan één sortering verladen worden, tenzij een goede scheiding mogelijk is. Zware sorteringen worden met behulp van grijperkranen geladen of per steenstuk voorzien van hijshaken of -ogen in het schip gebracht. Hierbij moet zorgvuldig gewerkt worden, omdat bij een geringe valhoogte van de steen of het wegrollen daarvan grote schade aan het schip kan ontstaan. Een zwaar steenstuk, dat uit de grijper valt kan zoals in de praktijk is voorgekomen door de bodem van een schip slaan en het schip doen zinken. Fijne en lichte steensorteringen worden met grijperkranen, via bakken of met transportbanden geladen. Dit laatste komt slechts zelden bij lichte sorteringen voor. Het beladen met bakken gebeurt door op de wal een bak met steen te vullen, die vervolgens in het schip gehesen en geleeigd wordt. De bak bestaat meestal uit een plaatstalen constructie met aan drie zijden een wand. De bak wordt gevuld met een wiellader of door en kippende vrachtwagen.

De bak wordt laag in het schip leeg gekanteld.

In enkele groeven langs de Maas in België worden de lichte steensorteringen vóór het verladen nagezeefd met behulp van een rooster.

In één groeve direct langs de Maas wordt de 10-60 kg na afzeving via een glijgoot in een bak gebracht, die na het bereiken van de bodem van het schip of de reeds geladen steen via een scharnierende bodem gelost wordt.

Bij belading met een transportband moet de valhoogte zoveel mogelijk beperkt worden. Dit kan gedaan worden door het niveau van het einde van de band zo laag mogelijk in te stellen.

Bij belading van lichte en niet al te zware steensorteringen in zeeschepen wordt wel gebruik gemaakt van grote ringvormige "baskets". Zo'n "mand" bestaat uit een stalen ring, waarbinnen een stalen net is bevestigd. De "mand" wordt na belading in het schip leeg gekanteld. Dóór het net valt een deel van het te fijne materiaal zoals scherven en bodemmateriaal, dat daardoor op de kade achterblijft.

Voor transport over zee kan de toepassing van pontons aantrekkelijk zijn. Er bestaan zeer grote pontons met een oppervlak tot $35 \times 130 \text{ m}^2$ en een laadvermogen tot 20.000 ton. Een groot voordeel van pontons is, dat de overslag met kranen, wielladers en steendumpers op de ponton plaats kan vinden. Wat dit betreft kan de pontonlading als een drijvend depot beschouwd worden. Het laden en lossen kan hierdoor zeer snel verlopen. Bij een pendeldienst kan de sleepboot verscheidene pontons bedienen, omdat de aanwezigheid van de sleepboot bij laden en lossen niet nodig is.

De diepgang van een ponton is relatief gering. Er moeten wel speciale voorzieningen getroffen worden voor een brugverbinding tussen het ponton en de oever. Dit kan een eenvoudige constructie zijn, omdat niveauvariatie tengevolge van het laden, lossen en de getijdebeweging, door trimmen via ballasttanks gecompenseerd kan worden.

ad d. Lossen in een depot.

Lossen in een depot na aanvoer zal zoveel mogelijk beperkt worden, omdat directe overslag in het werk het goedkoopst is. Depotvorming kan om diverse redenen noodzakelijk zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een grotere steenbehoefte in een bepaalde tijd dan in dezelfde periode geproduceerd of uit depots in de groeve geleverd kan worden. Depots kunnen ook dienen als reserve-voorraden voor onvoorziene en verwachte aanvoerstoringsen. De aanvoer kan gestagneerd worden door te hoog en laag water, door ijsgang, mist, storm en dergelijke.

Voor grote werken worden veelal enorme depots aangelegd.

Bij de bouw van de Stormvloedkering Oosterschelde is een gedeelte van de met binnenvaartschepen aangevoerde lichte en fijne steensorteringen in zogenaamde natte depots gebracht, die vanaf de haven- of Oosterscheldebodem tot boven water werden opgebouwd. De overige aangevoerde steensorteringen zijn met steendumpers in droge depots gereden waarna het opzetten van de depots met kranen plaats vond. Deze werkwijze bleek voor de betreffende sorteringen goedkoper te zijn dan opslag in natte depots. Bij natte depots of depots op oevers bespaart men transport en overslaghandelingen. Anderzijds zijn de verliezen bij natte depots groter dan bij droge depots. Bovendien is de overslagcapaciteit van steen, die onder water ligt geringer dan bij boven water liggende steen. Tevens is naselectie bij droge depots beter uitvoerbaar.

ad e en f. Verladen uit een depot, overslaan op een transportmiddel naar het werk en aanbrengen in het werk.

Zoals reeds eerder opgemerkt is directe overslag uit het aanvoerende schip in het werk het voordeligst met betrekking tot de verwerkingskosten. Overslag van zeevarende schepen of pontons op kleinere vaartuigen, eventueel via een depot kan nodig zijn vanwege de diepgang of breedte. Bij droge depots kan de overslag op steendumpers of vrachtwagens nodig zijn en vervolgens op vaartuigen, waarmee het materiaal naar het werk vervoerd wordt.

Verwerking van de steen kan op allerlei manieren plaats vinden en wel met behulp van kranen, allerlei typen steenstorters, met onderlossers, via glijgoten etc.

Ook bij het verwerken zal weer enige breuk optreden, die minder is naarmate de valsnelheden geringer zijn. De kwaliteit van het geproduceerde materiaal en de breuk, verontreiniging en ontmenging, die daarna tengevolge van transport en overslag zijn opgetreden en mogelijk weer ten dele ongedaan zijn gemaakt, zijn bepalend voor de kwaliteit van de steensortering in het werk. Bij het opstellen van eisen voor het geproduceerde materiaal dient in verband met het voornoemde zowel uitgegaan te worden van de functionele eisen als de invloeden op de kwaliteit tussen het moment van produceren en van het aangebracht zijn in het werk (zie ook hoofdstukken 5 en 13.1)

3.3.2. Aanbevelingen.

In het algemeen zal men proberen het aantal overslaghandelingen zoveel mogelijk te beperken, omdat hiermee geld bespaard wordt. Anderzijds kan depotvorming zowel bij de producenten als bij de opdrachtgever noodzakelijk zijn om een vereiste continuïteit in aanvoer en verwerking te verzekeren.

Om kwalitatieve redenen kunnen de volgende voorwaarden of voorkeuren met betrekking tot depots genoemd worden:

- De depots dienen goed van elkaar gescheiden te zijn. Liefst dienen geen in grofheid opeenvolgende depots naast elkaar te liggen.
- Welke sortering in een bepaald depot ligt, moet bij alle betrokkenen goed bekend zijn. Zonodig dient dit duidelijk aangegeven te worden. Hiermee wordt het gevaar verkleind, dat materiaal van verschillende sorteringen in één depot terecht komt, welk gevaar in de praktijk gebleken is.
- De ondergrond van een depot dient zodanig te zijn, dat het opnemen van bodemmateriaal voorkomen wordt of ongedaan gemaakt kan worden. Bij overslag met een poliep is het opnemen van bodemmateriaal het geringst, vooral bij de zware sorteringen. Afgesplinterd materiaal zal dan zelfs in het depot achterblijven. Dit kan bij zeer zware sorteringen ook bereikt worden door met een hefvoorkmechanisme aan een wiellader de steenstukken afzonderlijk uit het depot op te nemen. Een sterke verharde depotbodem is duur. Op sommige haven-terreinen voor de overslag van breuksteen komt een verharding voor. Bij het opnemen van steen uit een depot met een wiellader of kraan met een bak is het opnemen van bodemmateriaal het minst te vermijden. Een depotbodem kan daarom het beste voorzien worden van een gewalste vlakke laag van fijn funderingsmateriaal. Door de wiellader of kraan te voorzien van een bak met sleufvormige openingen verdwijnt een deel van het opgenomen fijne materiaal uit de steensortering of zakt uit bij verder transport en overslag.

Het gevaar voor opnemen van bodemmateriaal is ook gering bij fijne sorteringen, indien het onderste laagje in depot blijft liggen. Bij lichte steensorteringen is dit niet goed mogelijk, omdat het drukken van de wielladerbak in het depot moeilijker is dan schuiven over de depotbodem. Bovendien vermijdt men in een groeve zoveel mogelijk het rijden over grof steenmateriaal om slijtage van banden te beperken.

- Bij overslag in of uit depots, bij het laden van schepen en bij opzetten van depots dient de valhoogte van de steen zoveel mogelijk beperkt te worden.

Bij kippen uit vrachtwagens of steendumpers ligt de valhoogte min of meer vast. De mate van breuk bij het kippen is dan nog afhankelijk van zijdelings of achterover kippen, van de hoogte van de wagen, van de lengte van de bak, van de kans op steken blijven van de steen in de bak, van het op elkaar storten van de steen of het rijdend lossen en van de hardheid van de ondergrond.

Door het vormen van hoge depots kan het benodigde oppervlak en de rijafstand voor wielladers tot een te laden vaartuig beperkt worden of maakt men optimaal gebruik van een depotoppervlak onder kraanbereik.

Zware en lichte steensorteringen kunnen met kranen of wielladers opgezet worden tot hoge depots. Hierbij moet het omlaag rollen van de steenstukken zoveel mogelijk vermeden worden. Bij gebruik van kranen bij overslag en het opzetten in een hoog depot is de kans op breuk door een grote valhoogte het grootst. Bij draadkranen kan de valsnelheid nog vergroot worden door het uitzwaaien van de grijper aan de hijsdraad.

Het beperken van de valhoogte kan enige moeite kosten en vereist een nauwlettend toezicht, omdat de overslagcapaciteit hierdoor beperkt kan worden.

Fijne en lichte sorteringen kunnen op een hoog depot gereden worden, doordat deze materialen berijdbaar zijn. Ook kan met een transportband een hoog depot bereikt worden of kan het materiaal met een wiellader opgezet worden. Bij fijne en lichte sorteringen kan in een hoog depot aanzienlijke ontmenging ontstaan. Wanneer de materialen met een transportband op één punt in een depot gebracht worden, ontstaat in de kern van het kegel- of halfkegelvormige depot een concentratie van fijn tot zeer fijn materiaal, doordat de fijnste steenstukken inclusief gebroken en afgesplinterd materiaal vooral in de kern blijven liggen en de grofste steenstukken meer omlaag rollen naar de voet van het depot.

- Steen, die met gietasfalt gepenetreerd wordt mag niet verontreinigd zijn door aangehechte slib of klei, omdat daardoor de hechting tussen steen en asfalt verhinderd wordt. Deze vervuiling kan ontstaan door vervuiling met ondergrond uit depots of door een hoge waterstand waardoor de steenstukken met een laagje slib bedekt kunnen raken. Voornoemde vervuiling moet vermeden worden.
- Het ontstaan van breuk en opnemen van bodemmateriaal leidt tot de wens of zelfs noodzaak van naselectie. Deze naselectie is vooral mogelijk bij zware en lichte steensorteringen en bij opnemen van steenstukken met een polieprijper of met stroppen of kettingen. Lichte steensorteringen kunnen met behulp van een rooster nagezeefd worden.

4. Gebreken

Gebreken en verontreinigingen komen vrijwel altijd voor in breuksteen. De mate waarin dit een steensortering minder bruikbaar maakt varieert en is mede afhankelijk van functionele eisen en economische factoren.

Onder gebreken worden niet de elementaire eigenschappen verstaan, die een bepaald gesteente ongeschikt kunnen doen zijn voor toepassing in bepaalde constructies. Dit geldt bijvoorbeeld voor het niet bestand zijn tegen verwerking (hoofdstuk 6).

Gebreken in steensorteringen tengevolge van grensvlakken van lagen of het breuksysteem in de steenformatie evenals het voorkomen van aders en scheuren door het springproces zijn min of meer normaal voorkomende verschijnselen (hoofdstukken 3 en 5).

Verontreinigingen door fijn bodemmateriaal en door slib kan soms in onaanvaardbaar grote mate optreden. (hoofdstuk 3).

Van de verder voorkomende gebreken en verontreinigingen worden hierna een aantal genoemd, die in de praktijk zijn gesignaleerd en van belang kunnen zijn.

Een van de bekendste gebreken is zonnebrand in basalt. Zonnebrand is een verschijnsel, dat vooral bij basische olivijn-basalten optreedt. Het is herkenbaar aan lichtgrijze stervormige vlekken met een diameter van enkele millimeters, die in het vrijkomende gesteente direct zichtbaar zijn ("open zonnebrand") of pas na enige tijd door inwerking van de atmosfeer zichtbaar worden ("verborgen zonnebrand"). Van de genoemde vlekken gaan, meestal in een stervormig patroon, scheuren uit, die de sterkte van het gesteente doen afnemen en tot uiteenvallen van de basalt kunnen leiden. Het uiteenvallen kan na enkele maanden reeds plaatsvinden of pas na jaren beginnen.

De oorzaak van zonnebrand is niet bekend. Wel is aangetoond dat het verschijnsel optreedt bij concentraties van het mineraal analciem in bolvormige of netachtige patronen. De aanwezigheid van analciem kan door een röntgenanalyse aangetoond worden. Zonnebrand kan bij aanwezigheid meestal reeds in de groevewand of in afvalbergen herkend worden. In het algemeen treedt zonnebrand niet in de gehele groeve op, maar slechts in flarden, nesten of grotere gedeelten en vooral aan de rand van de steenformatie.

Zonnebrand kan op verschillende manieren aangetoond worden. Een goed inzicht wordt door mineralogisch-petrografische onderzoeken door röntgenanalyse en slijpplaatjes verkregen. Indien bij 36 uur koken in gedestilleerd water of 8 uur in zoutzuur geen lichtgrijze vlekken optreden dan bestaat er volgens A. Loos (2) geen gevaar voor zonnebrand.

Door de Duitse overheid wordt een periodieke controle op het voorkomen van zonnebrand verplicht gesteld. Eens per twee jaar wordt dit door een overheidsinstelling uitgevoerd en eens per half jaar door een door de overheid erkend instituut.

Elke steenformatie is omgeven door andere gesteenten, die bij winning van breuksteen uit de formatie als verontreiniging in de sortering voor kunnen komen. De mate van verontreiniging kan gelimiteerd worden. De noodzaak daartoe hangt mede af van de schadelijkheid van de verontreiniging. De aanwezigheid van enige gneis in te leveren graniet zal geen of minder bezwaar opleveren dan het voorkomen van tufsteen, lava of leiachtig materiaal in basalt. Verontreiniging kan ook voorkomen in de vorm van los bodemmateriaal of verweerde en ongeschikte toplagen.

Een bijzonder voorbeeld hiervan is het voorkomen van een verweringsgevoelige toplaag in een kalksteengroeve. Deze ongeveer 1 m dikke laag onderscheidt zich door een iets donkerder kleur van de onderliggende geschikte kalksteen. De verweringsgevoelige laag laat zich niet zonder springen of breken verwijderen. In de praktijk is gebleken, dat zonder verwijdering van de ongeschikte laag ontoelaatbare hoge concentraties van dit materiaal in de geleverde steen voor kunnen komen.

Het voorkomen van deze ongeschikte steen in een te leveren partij kan door een nauwgezette visuele controle door iemand met enige ervaring herkend worden. Het aantonen kan in dit geval met een vorst-dooiproef en meting van de dichtheid gebeuren. Dit laatste is mogelijk doordat de dichtheid iets geringer is dan van geschikte kalksteen.

In het algemeen kan het meten van de dichtheid een goed hulpmiddel zijn om steen met afwijkende eigenschappen te signaleren.

Verscheidene steensoorten kunnen ook gemengd met elkaar voorkomen in een steenformatie. Bij de beoordeling van de geschiktheid van steen uit een dergelijke formatie moeten de eigenschappen en mate van geschiktheid van elk van de betreffende steensoorten beoordeeld worden. Zonodig en zo mogelijk moet bij het winnen zodanig selectief gewerkt worden, dat een minder geschikte steensoort slechts beperkt in het eindproduct voor komt.

Voorbeelden van gemengd voorkomen zijn bijvoorbeeld een groeve waarin graniet, gneis en kalksteen laagsgewijs voorkomen. In grauwacke kunnen min of meer verweringsgevoelige en zwakke leisteen voorkomen, zwakke zandsteen en sterke kwartsietgesteenten.

In sommige gesteenten kunnen aanzienlijke variaties voorkomen in poriëngehalte en grootte van de poriën. De dichtheid en andere eigenschappen zoals sterkte en bestandheid tegen vertering kunnen daardoor ook sterk variëren.

De genoemde variatie kan zeer duidelijk van laag tot laag aanwezig zijn in dolomiet.

Basaltlava kan min of meer in poriëngehalte variëren. Zo is het poriëngehalte boven in de basaltlavagroeve in de Eifel iets groter dan in het onderste deel. In basalt kunnen overgangen voorkomen naar basaltlava en lava. Dit is doorgaans goed zichtbaar door variatie in kleur en het wel of niet voorkomen van zichtbare poriën of holten.

Een bekend gebrek in Belgische kalksteen is het voorkomen van bitumineuze aderen ("veines noires", "noirures" of "grœfleger") tussen de lagen kalksteen. Deze aderen kunnen wel tot een tiental millimeters dik zijn. Langs deze aderen treedt relatief gemakkelijk splijting op in het spring-breekproces, bij overslag en mogelijk ook door vertering. Een merkbare invloed op de kwaliteit is vooral bij zwaardere sorteringen dan 10-60 kg mogelijk.

In het algemeen levert natuursteen geen bezwaar op voor het milieu. In bijzondere gevallen kan dit door daarin gespecialiseerde instituten nagegaan worden.

Gebrek en verontreinigingen in breuksteen tasten de kwaliteit en bruikbaarheid veelal in meer of mindere mate aan, hetgeen mede afhankelijk is van de toepassing van de breuksteen en eventueel aanwezige bijzondere omstandigheden.

Omdat de gebreken en verontreinigingen van allerlei aard en lastig kwantificeerbaar kunnen zijn en ook de mate van schadelijkheid per toepassing kan variëren, kunnen in het algemeen slechts bepalingen gelden, die het voorkomen van gebreken en verontreinigingen in te leveren steensorteringen geheel verbieden zonder de aard daarvan nader aan te geven. Een uitzondering vormen bekende gebreken en verontreinigingen zoals zonnenbrand en leem of klei, die met name in bepalingen genoemd kunnen worden.

Van steen van bekende groeven zijn de eigenschappen en mogelijke gebreken doorgaans wel onderzocht. Bij steen van een groeve, waarmee nog weinig ervaring bestaat, is extra oplettendheid geboden. Een vóóronderzoek in de groeve is dan zeker gewenst. Een dergelijk vóóronderzoek is in het algemeen raadzaam indien niet alle aspecten met betrekking tot de kwaliteit van een uit een bepaalde groeve te leveren sortering bekend zijn.

De Wegbouwkundige Dienst kan hierbij informerend en adviserend optreden.

5. De sterkte van breuksteen.

Breuksteen moet voldoende sterk zijn om de krachten, die optreden bij overslag, aanbrengen en het functioneren in de constructie zodanig te kunnen weerstaan, dat geen ongewenst of ontoelaatbaar grote verfijning optreedt.

De voor waterbouwkundige werken toegepaste breuksteen is elementair (zonder de invloed van scheuren, aders etc.) in het algemeen vele malen sterker dan beton. De sterkte is onderzocht door bepaling van de druksterkte, de buig-treksterkte, de "toughness of rock" (dynamische splijtwaarde) en de "Aggregate Impact Value" (dynamische verbrijzelingswaarde).

De druksterkte van een aantal steensoorten is bepaald volgens DIN 52105 (3). De gemeten druksterkte is onder andere afhankelijk van de vorm en afmetingen van de proefstukken, holten en insluitingen in de proefstukken en gelaagdheid van het gesteente.

De onderzochte proefstukken waren kubusvormig en hadden riblengten van 40 tot 50 mm. De proefstukken waren vrij van holten, insluitingen, scheuren en andere onregelmatigheden. Per onderzocht steenstuk is in drie loodrecht op elkaar staande richtingen de druksterkte bepaald. De gemiddelde waarden waren als volgt:

kalksteen uit België: ongeveer 200 N/mm^2 (Maasgroeven) tot 150 N/mm^2 ;

basalt : 280 tot 380 N/mm^2 ;

graniet: 150 tot 250 N/mm^2 ;

gabbro en diabaas: 250 tot 300 N/mm^2 ;

porfier uit Quenast: ongeveer 300 N/mm^2 .

Als enig bekende eis in een algemeen voorschrift wordt volgens de "Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine" (4) een druksterkte van ten minste 80 N/mm^2 vereist.

Met een driepunts-buigproef is de buig-treksterkte van diverse steensoorten bepaald. De diameter van de geboorde proefstukken was 25 mm. De afstand van de oplegpunten was 100 mm.

De buigtreksterkte bleek globaal 10% van de druksterkte te zijn.

De op breuksteen uitgeoefende krachten zijn voornamelijk van dynamische aard (stootbelasting).

Er zijn daarom enkele proeven uitgevoerd, waarbij monsters breuksteen dynamisch werden belast. Deze proeven betreffen de "toughness of rock" en de "Aggregate Impact Value".

De "toughness of rock" (dynamische splijtwaarde) geeft een maat voor de dynamische splijtwaarde van steen. Deze proef wordt uitgevoerd volgens de ASTM (5). De cilindervormige proefstukken hebben hierbij een lengte en diameter van 25 mm. In de testmachine (figuur 5) rust op het proefstuk een stalen cilinder met een massa van 1 000 g. Aan de onderzijde van deze cilinder bevindt zich een hardstalen bolvormige afronding met een diameter van 20 mm. Het hart hiervan rust centrisch op het proefstuk. Een valgewicht van 2 000 g valt met een telkens 10 mm toenemende valhoogte op de stalen cilinder tot het proefstuk bezwijkt. De valhoogte, waarbij het proefstuk bezwijkt is een maat voor de "toughness" van de steen. Deze valhoogte wordt uitgedrukt in centimeters. Van diverse steensoorten zijn uit steenstukken in drie loodrecht op elkaar staande richtingen proefstukken geboord.

De volgende gemiddelde waarden zijn vastgesteld voor de "toughness of rock":

- kalksteen uit België: 5 cm (Maasgroeven) tot 7 cm;
- basalt: ongeveer 15 tot 30 cm;
- basaltlava uit de Eifel: ongeveer 20 cm;
- graniet: ongeveer 5 tot 10 cm;
- gabbro en diabaas: ongeveer 10 tot 15 cm;
- porfier uit Quenast: ongeveer 20 cm.

De Aggregate Impact Value (dynamische verbrijzelingswaarde) is een maat voor de verbrijzelbaarheid van een monster steen door een slagbelasting. Het onderzoek is uitgevoerd volgens BS 812 (6).

De dynamische belasting wordt bij de proef uitgeoefend door een gietstalen massa van 14 kg 15 maal vanaf een hoogte van 380 mm op het monster te laten vallen. Het monster bevindt zich daarbij in een cilindervormig vat met een inwendige diameter van 102 mm en een hoogte van 50 mm.

In afwijking van het voorschrift is materiaal gebruikt van de zeeffractie C11,2 - C8. Dit materiaal is verkregen door brokken steen met een kaakbreker te breken en vervolgens te zeven op zeven NEN 2560 - C11,2 en C8. Na verbrijzeling van het monster is het materiaal op zeef 2 mm afgezeefd.

De Aggregate Impact Value (A.I.V.) is berekend als $\frac{B}{A} \times 100\%$, waarin:

- A: massa van het monster;
- B: massa van de fractie door zeef 2 mm na verbrijzeling.

Naarmate de A.I.V. geringer is, is de gevoeligheid voor verbrijzeling minder. De volgende gemiddelde waarden zijn vastgesteld voor de A.I.V.:

- kalksteen uit België: van bijna 30% (Maasgroeven) tot 20%;
- basalt: ongeveer 10-15%;
- basaltlava uit de Eifel: ongeveer 15%;
- graniet: 25 tot 40%;
- gabbro en diabaas: ongeveer 15%;
- porfier uit Quenast: ongeveer 17%.

Om de hierna genoemde redenen is de A.I.V. een zeer geschikte waarde om, met betrekking tot de sterkte van breuksteen voor de waterbouw, eisen voor te laten gelden.

- de belasting, die op breuksteen wordt uitgeoefend is grotendeels of geheel dynamisch van aard, zodat een beproeving door middel van een statische of semistatische belasting minder geëigend is;
- een verbrijzelingsproef ter bepaling van de sterkte van gesteenten is internationaal gebruikelijk, zij het dat veel verschillende beproevingswijzen worden toegepast;
- de voor de uitvoering van de proef ter bepaling van de A.I.V. benodigde apparatuur en hulpmiddelen zijn niet duur;
- de proef kan relatief snel (enkele uren) door laboranten uitgevoerd worden;
- de herhaalbaarheid van de verbrijzelingsproef lijkt goed te zijn ($\sigma < 0,5\%$), maar is nog niet vastgesteld.

Bij het gebruik van twee verschillende kaakbrekers en verschillende werkwijzen bij het breken, bleken de verschillen in de A.I.V.-waarden nihil of zeer gering te zijn.

De A.I.V. is afhankelijk van de vorm van de steenstukjes, waarop de verbrijzelingsproef wordt uitgevoerd. De vorm van de steenstukjes wordt beïnvloed door het breker-type (kaakbreker, kegelbreker, hamerbreker etc.).

Om de afhankelijkheid van de vorm van de steenstukjes te vermijden kan de relatie bepaald worden tussen de A.I.V. en deze vorm. Deze werkwijze is onder andere in Noorwegen gevolgd.

Voor steensorteringen tot ongeveer de sortering 60-300 kg is de A.I.V. in het algemeen een goede maat voor de breukgevoeligheid. Zo is het bij een grotere A.I.V. dan 25% veelal noodzakelijk direct voor het verladen het grote gehalte door breuk veroorzaakte scherven door een nazeving te verminderen.

Afhankelijk van de mate van weerstand tegen breuk, die voor een bepaalde toepassing vereist dan wel gewenst is, kan geëist worden dat de A.I.V. een maximale waarde van 25 tot 40% heeft.

Bij zware steensorteringen is de breukgevoeligheid naarmate de sortering zwaarder is, in mindere mate afhankelijk van de elementaire sterkte van het gesteente. Zo bleek de breukgevoeligheid van de sortering 6-10 ton van een zwak gesteente, namelijk duniet, relatief gering te zijn. De A.I.V. varieerde in dit gesteente tussen 30 en 70%. Bij stoten trad vooral verbrijzeling aan het oppervlak op, wat tot demping van de krachten leidde, waardoor minder snel splijting van een steenstuk voor kwam en relatief weinig materiaalverlies op trad.

De breukgevoeligheid van zware steensorteringen is vooral afhankelijk van scheuren en zwakke plekken in de steenstukken. Voor sorteringen 300-1 000 kg en zwaardere, die per steenstuk geselecteerd worden, kan geëist worden, dat de steenstukken geen schadelijke scheuren of aderen mogen bevatten. Aderen zijn meestal ook zwakker dan het gesteente, waarin ze voorkomen. Dit geldt ook voor grensvlakken van lagen in sedimentgesteenten en soms in metamorfe gesteenten.

In elke steenformatie komen veel open en gesloten breuken voor. De open breuken zijn vooral bepalend voor de grofheid van de zwaarst winbare sortering. Bij gesloten breuken sluiten de breukvlakken met meer of minder hechting tegen elkaar aan.

Het zogenaamde "hoofdscheursysteem" in diepte- en ganggesteente is ontstaan door druk-trek- en schuifspanningen diep in de aardkorst. Door drukontlasting in het naar boven komend gesteente zijn verder scheurtjes ontstaan, die als het "diaklaassysteem" aangeduid worden. De scheuren en scheurtjes kunnen weer min of meer door opvulling met veelal kwarts of pegmatitisch materiaal gesloten zijn.

De "hechtsterkte" in deze gesloten scheuren is bepalend voor de breukgevoeligheid van de zware steensorteringen.

Bij sedimentgesteenten zijn de laagdikten, "hechtsterkte" in de lagen en de elementaire sterkte bepalend voor de grofheid van de zwaarst winbare sortering en de breukgevoeligheid van de sorteringen.

In basalt kunnen min of meer gesloten scheuren voorkomen, veroorzaakt door spanningen door ongelijke afkoeling. Ook kan in zuilvormige steenstukken een zodanig breukpatroon aanwezig zijn, dat uiteen vallen in fijnere zuilen kan voorkomen.

De breukgevoeligheid van steen kan tenslotte ook door verwerking nadelig beïnvloed zijn.

Door valproeven is de breukgevoeligheid onderzocht van de sortering 6-10 ton van basalt uit Duitsland en diabaas uit Finland (7). Steenstukken van de betreffende sortering vielen hierbij op een ondergrond van breuksteen 300-1 000 kg.

De valhoogte was zodanig, dat op het moment, dat de ondergrond geraakt werd de valsnelheid van het betreffende steenstuk overeen kwam met de constante snelheid, die bij vallen in zeewater na enige tijd bereikt wordt.

Tabel 1. Verfijning van de sortering 6-10 ton bij valproeven

vóór/na de val	basalt		diabaas	
	vóór	na	vóór	na
< 4 000 kg, % (m/m)	0	5	0	10
< 6 000 kg, % (m/m)	8	16	13	30
>10 000 kg, % (m/m)	32	28	24	14
M ₅₀ , kg	9 050	8 600	8 250	7 400

Bij proefleveringen van breuksteen voor de bouw van de Stormvloedkering Oosterschelde is de verfijning door breuk bij transport en overslag gemeten door zowel in de groeve als na het in depot brengen in Nederland de massa van veel steenstukken te bepalen. In tabel 2 zijn resultaten van deze metingen genoteerd.

De gevoeligheid voor breuk is zodanig, dat meestal maatregelen gewenst of noodzakelijk zijn om de breuk bij transport, overslag en plaatsing zodanig te beperken dat het steenmateriaal in het werk aan de eisen voldoet, die er functioneel aan gesteld worden. Eventueel ná-selectie toegepast worden om aan de minimaal vereiste kwaliteit te voldoen.

Tabel 2. Verfijning van sorteringen breuksteen door transport en overslag.

Steen- soort	Sortering	dicht- heid t/m ³	A.I.V. %	lichter dan nominale onder- grens, %(m/m)		zwaarder dan nominale boven- grens, %(m/m)		gemiddelde massa exclusief scherven		M ₅₀	
				vóór trans- port	na trans- port	vóór trans- port	na trans- port	vóór transport kg	na transport, vermin- dering, %(m/m)	vóór transport kg	na trans- port, vermin- dering, %(m/m)
basalt	6-10 ton	3,02	~ 13	~ 6,6	7,7	~ 36,5	34,9	8 593	0,3	9 230	1
diabaas	6-10 ton	2,98	~ 15	8,2	~ 22	27,4	~ 22	8 193	4,4	8 450	8
gabbro	6-10 ton	3,02	~ 15	4,6	7,0	14,7	13,5	8 043	1,3	8 120	1
duniet	6-10 ton	3,21	30-70	13,0	~ 18,6	25,6	~ 18,7	8 040	~ 2,2	8 050	4
graniet	6-10 ton	2,57	~ 38		18,5		28,2			~ 8 520	~ 2
basalt	1-3 ton	3,02	~ 13	~ 7,2	8,3	~ 35	~ 26,8	2 078	2,7	2 380	5
diabaas	1-3 ton	2,98	~ 15	0,0	7,6	27,5	~ 17,2	1 739	6,0	1 800	6
gabbro	1-3 ton	3,02	~ 15		7,5		0,8			~ 1 860	~ 5
duniet	1-3 ton	3,21	30-70	2,3	~ 12,7	15,2	13,6	1 976	~ 7,6	1 900	?
graniet	1-3 ton	2,57	~ 38		17,9		12,4			~ 1 745	~ 6
diabaas	300-1 000kg	2,98	~ 15	0,0	7,9	6,3	4,1	602	8,8	690	9
gabbro	300-1 000kg	3,02	~ 15		13,2		19,7			~ 656	~ 4
graniet	300-1 000kg	2,57	~ 38		9,4		11,2	542		~ 605	~ 5
diabaas	60 - 300kg	2,98	~ 15	0,0	0,4	10,7	8,8	187	2,7	215	7
graniet	60 - 300kg	2,57	~ 38		4,0		16,3			~ 200	~ 3

6. De bestandheid tegen verwerking.

Geen enkele steensoort heeft een onbeperkte duurzaamheid. Door de inwerking van water en atmosferische invloeden treedt verwerking op met een snelheid, die afhankelijk is van de steensoort. Dit proces verloopt doorgaans zo langzaam, dat dit van geen belang is voor de waterbouwkundige toepassingen van natuursteen.

Steensoorten, die zo snel desintegreren dat binnen de levensduur van een constructie niet meer aan de functionele eisen voldaan kan worden, leiden tot verhoging van onderhouds- en herstelkosten.

Als invloeden, die tot verwerking leiden worden hier atmosferische invloeden en water (zee- of zoetwater) beschouwd. In bepaalde gevallen zouden ook agressieve stoffen in het water of de lucht van invloed kunnen zijn.

Bij toepassing boven water leiden temperatuur- en vochtvariaties tot temperatuurspanningen, dampspanningen en spanningen tengevolge van de uitzetting van water bij bevriezing. De laatstgenoemde invloed is het meest destructief. Onder water kan mogelijk aantasting door zee- of zoetwater optreden. Indien steen die onder water wordt toegepast in een winterseizoen vóór het aanbrengen in een depot ligt opgeslagen of boven water hergebruikt zal worden is de bestandheid van deze steen tegen vorst- en dooiwisselingen ook relevant.

Ter beoordeling van een voldoende bestandheid tegen verwerking is de ervaring met het gedrag van steen uit een groeve, waaruit al jaren steen betrokken wordt eveneens van belang.

Bij verkenning van een nieuwe groeve of winplaats kan door visuele beoordeling in de groeve en door onderzoek van slijpplaatjes of door röntgenologisch onderzoek meer informatie verkregen worden over de bestandheid tegen verwerking.

De bestandheid tegen water kan door een kookproef van fijn gebroken materiaal in zee- of leidingwater nagegaan worden.

De inwerking van vorst kan met verschillen in destructieve werking afhankelijk zijn van het meer of minder voorkomen van aders, (haar)scheuren, breuken en poriën. Steen met een geringere wateropneming bij atmosferische druk dan 0,5% (m/m) wordt bestand geacht tegen verwerking (4). Bij een grotere wateropneming wordt deze bestandheid onderzocht door een vriesproef. Hierbij is het om praktische redenen niet mogelijk om zodanig grote steenstukken te onderzoeken, dat de invloed van aders, scheuren en breuken voldoende tot z'n recht komt. De proef wordt uitgevoerd door vijf steenstukken met een massa van 10 tot 20 kg per stuk na verzadiging bij atmosferische druk aan 25 vorst-dooiwisselingen te onderwerpen. De steenstukken mogen daarbij niet uiteen vallen of een groter massaverlies hebben dan 0,5% (4).

Tot nu toe is breuksteen, die in Nederland wordt toegepast voldoende bestand gebleken tegen aantasting door water.

Bepaalde steensoorten, vertonen soms een geringe mate van gevoeligheid voor vorst- en dooiwisselingen. Dit betreft onder andere de steensoorten dolomiet, kalksteen en vooral de eventueel aanwezige leisteencilcomponent in grauwacke of een ander gesteente.

7. De vorm van de steenstukken.

7.1. Het belang voor de waterbouw.

De vorm van de steenstukken van breuksteen voor de waterbouw is om verscheidene redenen van belang.

De weerstand tegen stroming en golfaanvallen is onder andere afhankelijk van de vorm van de steenstukken. Deze invloed was niet groot blijkens een door het Waterloopkundig Laboratorium verricht onderzoek, waarbij materiaal van de volgende vorm is onderzocht: kubussen, cilinders, tetraeders, knikkers, grind, kubische breuksteen en platte breuksteen (8). Bij dit onderzoek is de vorm van de breuksteen niet nader gemeten. Het lijkt niet uitgesloten, dat extreem platte breuksteen aanzienlijk minder weerstand tegen stroming en golven heeft dan "kubisch" gevormde breuksteen.

De wrijvings- en haakweerstand is mede afhankelijk van de vorm van de steenstukken. De grootte van deze invloed is niet bekend.

De vorm van de steenstukken beïnvloedt ook de holle ruimte in een laag breuksteen en de minimale dikte van een voldoende "gesloten" laag breuksteen. Een relatief grote holle ruimte is economisch nadelig bij een met gietasfalt te penetreren laag.

Vooraf relatief zware en platte steenstukken in een sortering vergroten de holle ruimte en kunnen uitsteken buiten de laag.

7.2. De factoren, die de vorm bepalen.

De vorm van stukken breuksteen is afhankelijk van de aard van de steenformatie, het springproces en het breek- en sorteerproces. De aard van de steenformatie betreft in deze het breuksysteem, de gelaagdheid, de hechting tussen de lagen, de sterkte van het gesteente, het voorkomen van zuilen en de geaardheid daarvan.

Het meest kubische en scherpkantige materiaal kan men bij een sterk dieptegesteente verwachten. Bij een zwak gesteente ontstaat enige afronding door verbrijzeling van de scherpe kanten. Een gelaagd gesteente levert in het algemeen een relatief grote hoeveelheid platte steenstukken op in de sorteringen waarvan de steenstukken een dikte hebben, die met de dikte van de lagen in de steenformatie overeenkomen. Dit is vooral het geval indien er slechts geringe hechting tussen de lagen bestaat. Ook bij een grote hechting, zoals bij gneis, leidt de gelaagdheid echter tot gemiddeld plattere steenstukken dan bij een dieptegesteente.

Bij zuilenbasalt bepaalt de zuilvorm vooral de vorm van de steenstukken van

de sortering, die met betrekking tot de zwaarte aansluit bij de grofheid van de betreffende zuilen.

Het springen door boorgaten evenwijdig aan de gelaagdheid of richting van de zuilen levert plattere respectievelijk langere steenstukken op dan springen in een haaks daarop staande richting. Bij zuilenbasalt kan de eerstgenoemde springmethode tot zeer lange steenstukken leiden. overigens is dit ook afhankelijk van de afstand van de van nature aanwezige breuken in de zuilen.

Bij het breken wordt de vorm van de steenstukken beïnvloed door het type breker. Zo levert een kegelbreker veel platter materiaal op dan een kaakbreker. In het breekproces voor steensorteringen voor de waterbouw wordt doorgaans gebruik gemaakt van een kaakbreker. Zeer fijne fracties of sorteringen voor de waterbouw zijn veelal wel afkomstig van breekzeefprocessen, waarbij een ander type breker wordt gebruikt.

De vorm wordt ook beïnvloed door de profilering van de brekerplaten. Soms worden zodanige nokken op een brekerplaat aangebracht, dat platte steenstukken kantelen en daardoor fijner gebroken worden.

De vorm van de steenstukken is ook afhankelijk van de aard van het materiaal, waardoor het ene materiaal veel scherfvormiger breekt dan het andere.

Bij het zeven met een rooster kunnen platte steenstukken relatief gemakkelijk over de flenzen van de roosterprofielen in de te produceren sortering terecht komen ondanks een kleinere zeefmaat dan de ingestelde zeefmaat.

Hierdoor kan te licht plat materiaal in de sortering terecht komen. Bij een schudzeef bestaat dit gevaar in geringere mate. Dit gevaar kan nog verkleind worden door nokken op de zeefprofielen te lassen, waardoor de steenstukken tot kantelen gedwongen worden.

Overigens kunnen platte steenstukken, die een breker of zeef passeren de oorzaak zijn van te veel te zware steenstukken in een sortering.

7.3. Vormbeschrijving en eisen.

Van steenstukken breuksteen zijn met betrekking tot de vorm slechts twee maten eenvoudig te definiëren en te bepalen. Dit zijn de dikte d en lengte l . De dikte d van een steenstuk is de minimale afstand tussen twee evenwijdige rechten, waartussen het steenstuk nog juist kan passeren. De lengte l van een steenstuk is de grootste afstand tussen twee punten van het steenstuk. De verhouding d/l geeft een maat voor de platheid of langwerpigheid van een steenstuk. Door het ontbreken van een derde maat kan men op grond van een kleine d/l -waarde niet beoordelen of het betreffende steenstuk plat of langwerpig is.

De in 5.4 van NEN 529 (9) genoemde "kleinste gemiddelde afmeting" en "grootste gemiddelde afmeting" zijn niet nader gedefinieerd en zijn ook niet eenvoudig definieerbaar, zodat deze afmetingen praktisch niet toegepast kunnen worden.

Bij visuele selectie van de zware steensorteringen kan eveneens geselecteerd worden op de vorm van de steenstukken, zodat een eventueel te groot gehalte ongunstig gevormde steenstukken beperkt kan worden. Deze mogelijkheid bestaat vrijwel niet bij machinaal geproduceerde lichte of fijne sorteringen.

De gemiddelde waarde van d/l varieert van ongeveer 0,50 voor zeer "kubisch" materiaal tot ongeveer 0,30 voor zeer plat materiaal. In figuur 6 is de verdeling van d/l van enkele sorteringen getekend. De gemiddelde waarden van d/l voor de betreffende 10-60 kg, 1-3 t en 6-10 t zijn respectievelijk 0,48, 0,51 en 0,51. Een waarde van ongeveer 0,50 is normaal en betreft goed gevormd materiaal.

In West-Duitsland wordt de vorm van steenstukken van sorteringen voor de waterbouw op dezelfde wijze als voornoemd gemeten (4). Als eis geldt, dat niet meer dan 25% (m/m) uit ongunstig gevormde steenstukken mag bestaan, Ongunstig gevormde steenstukken zijn hierbij gedefinieerd als stukken met een geringere d/l -verhouding dan $1/3$.

Aan de genoemde eis kan gewoonlijk ruimschoots voldaan worden. Voor laag plat materiaal kan de eis problemen opleveren.

Of d/l geringer is dan $1/3$ kan na enige meetervaring meestal goed visueel beoordeeld worden. In twijfelgevallen kunnen de dikte en lengte gemeten worden met een daartoe te vervaardigen metalen meetgerei volgens het schuifmaat-principe.

In bijzondere gevallen kan het nodig zijn minder ongunstig gevormde steenstukken toe te laten dan volgens de voornoemde eis nog mogelijk is. Men kan dan voor machinaal geproduceerde sorteringen de eis verscherpen tot 10% (m/m) en voor visueel geselecteerde zware sorteringen tot 5% (m/m). Dit betekent dat in bepaalde groeven niet aan de 10%-eis voldaan kan worden en, dat bij de selectie van zware sorteringen de ongunstig gevormde steenstukken in voldoende mate buiten de te leveren sorteringen gehouden moeten worden.

8. Dichtheid en wateropneming.

De dichtheid van een steenstuk is de droge massa van een eenheid van volume van het steenstuk. Deze dichtheid is dus mede afhankelijk van het poriëngehalte n van het steenstuk. Deze afhankelijkheid blijkt uit de volgende relatie:

$$\rho_k = \rho_v \left(1 - \frac{n}{100}\right)$$

Indien de poriën volledig met water gevuld zijn, is het vochtgehalte w gelijk aan

$$w_{\max} = \frac{n \cdot \rho_w}{\rho_k}$$

De verzadigingsgraad van een steenstuk is $s = \frac{w \cdot \rho_k}{n \cdot \rho_w}$

De dichtheid van een steenstuk wordt bepaald door de massa van het droge materiaal te wegen en door het volume te bepalen door een weging onder en boven water. In Nederland wordt bij de berekening van de dichtheid een correctie ingevoerd voor de dichtheid van het water, die afhankelijk is van de temperatuur. Volgens Duitse voorschriften wordt dit niet gedaan. Het hierdoor veroorzaakte verschil is slechts enkele tienden procenten.

In elke steenformatie varieert de dichtheid. Dit wordt veroorzaakt door variatie in mineralogische samenstelling en poriëngehalte. In figuur 7 is de variatie van de dichtheid van enkele steensoorten aangegeven. Elke verdeling betreft enkele honderden steenstukken uit één groeve.

De gemiddelde dichtheid van de stukken grauwacke was $2,59 \text{ t/m}^3$, van de basaltlava $2,78 \text{ t/m}^3$ en van de diabaas $2,97 \text{ t/m}^3$. Uit de figuur blijkt, dat de dichtheid niet normaal verdeeld is.

Omdat de spreiding van de dichtheid in een groeve nogal groot kan zijn worden voor een nauwkeurige bepaling van de dichtheid relatief veel steenstukken genomen. Bij een verkenning van een groeve kunnen dit tientallen tot zelfs honderden steenstukken betreffen, afhankelijk van de omvang van de groeve en de verwachte variatie van de kwaliteit van het gesteente.

Monsters uit boringen geven informatie over de te verwachten dichtheid bij verdere exploitatie. Boringen worden echter helaas meestal niet voor het onderzoek van de steenformatie uitgevoerd, zodat volstaan moet worden met monsters van het bereikbare oppervlak en van de groevewand(en).

Grenzend aan natuurlijke scheuren in de formatie kan het gesteente in een dun laagje een geringere dichtheid hebben ten gevolge van verwerking. Bij het nemen van monsters ter bepaling van eigenschappen van het gesteente dient dit dunne laagje vermeden te worden, indien dit laagje wel de gemiddelde kwaliteit van de monsters duidelijk beïnvloedt, maar niet de gemiddelde kwaliteit van een te leveren partij breuksteen.

Tijdens levering van steen geeft een intensieve keuring op dichtheid niet alleen een betrouwbaar inzicht in deze eigenschap, maar kan ook inzicht geven in verandering van de dichtheid. Bovendien kunnen bij keuring voorkomende steenstukken met een afwijkende dichtheid aanwijzingen geven dat er iets bijzonders aan de hand is, zoals het voorkomen van onbestendige steen in kolenkalksteen (hoofdstuk 6), vermenging met steen uit een andere dan de opgegeven groeve, nadering van een basaltlava- of een lavagebied in of bij een basaltformatie, etc.

De volgende gemiddelde dichtheden gelden ongeveer voor de in Nederland bekende gesteenten in de waterbouw:

Dieptegesteenten: graniet 2,6; gabbro 2,9; diabaas 2,9 - 3,0 t/m³.

Uitvloeiingsgesteenten: basalt 3,0; basaltlava (Eifel) 2,8 t/m³.

Metamorfe gesteenten: gneis 2,7; kwartsiet 2,6 t/m³.

Sedimentgesteenten: kolenkalksteen 2,69; dolomiet 2,6; grauwas 2,6; zandsteen 2,0 - 2,7 t/m³.

De wateropneming van een steenstuk wordt bepaald door verzadiging bij atmosferische druk of door het uitoefenen van een vacuum in een vat, waarin het steenmateriaal zich onder water bevindt. In het laatste geval wordt een vochtgehalte bepaald, dat wellicht het beste overeenstemt met het vochtgehalte, dat na een langdurig verblijf onder water in de praktijk het geval is.

De wateropneming is afhankelijk van het gehalte aan poriën van het steenmateriaal en de mate waarin deze open of gesloten zijn.

De wateropneming van dieptegesteente is meestal minder dan 0,5 % (m/m). Van de overige steensoorten kan de wateropneming meer variëren. Per steensoort, die in de waterbouw wordt toegepast is de wateropneming echter meestal niet meer dan enkele procenten.

Uit de verschillende ontwerpformules blijkt de invloed van de dichtheid en de wateropneming op de bestandheid van een sortering breuksteen tegen golfaanvallen en stroming (10), zoals voor:

Golfaanval (formule van Hudson):

$$M = \frac{\rho_k \cdot H^3}{K \cdot \Delta^3 \cdot \cot \alpha}$$

Stroming (U.S. - W.E.S. - formule):

$$D = \frac{b}{\Delta} \cdot \frac{u^2}{2g} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}} \quad D = \sqrt[3]{\frac{2M}{\rho_k}}$$

In deze formules is: $\Delta = \frac{\rho_k - (1 + 0,01 w \cdot \rho_k) \rho_w}{\rho_w}$

Bij een verwaarloosbaar geringe wateropneming wordt

$$\Delta = \frac{\rho_k - \rho_w}{\rho_w}$$

9. Sorteringen breuksteen.

Een optimale definiëring en keuze van steensorteringen is afhankelijk van vele factoren:

Produktie-technische factoren:

De beschikbare produktieapparatuur en de regelmogelijkheden daarvan.
De nauwkeurigheid van de selectiemogelijkheden.

De afhankelijkheid van de produktiecapaciteit van de "breedte" van de sortering.

De onvermijdbaarheid van meer of minder breuk bij overslag en transport.

De wenselijkheid van een beperkt scala standaardsorteringen.

Ontwerp-technische factoren:

Naarmate het scala sorteringen groter is kan een betere keuze gemaakt worden uit hoofde van functionele eisen en benodigde hoeveelheid materiaal.

Naarmate sorteringen breder zijn neemt de gevoeligheid voor ontmenging toe.

Naarmate sorteringen breder zijn neemt de dichtheid van het steenpakket toe.

Zeer brede sorteringen kunnen niet meer als "uniform" materiaal beschouwd worden met een maatgevende korrelgrootte van D_{50} of M_{50} .

Bijzondere omstandigheden kunnen afwijkende sorteringen of eisen noodzakelijk maken.

Kwaliteits-technische factoren:

Een eenduidige en goede definiëring van sorteringen bevordert het voldoen aan de gestelde eisen.

Een beperkt scala standaardsorteringen bevordert het toepassen van uniforme besteksbepalingen en keuringsmethoden.

9.1. De situatie in Nederland.

De in § 313 van de A.V.W. 1968 (11) genoemde bepalingen betreffende "zinken stortsteen" zijn te beperkt, verouderd of onjuist. Er is met name bijvoorbeeld geen enkele steengroeve, waarin de genoemde "lichte zinken stortsteen" (10 - 80 kg) gemaakt wordt, noch gemaakt kan worden zonder ingrijpende wijziging in het produktieproces.

In NEN 529 (9) worden eisen gegeven voor de sortering 10 - 60 kg, die niet haalbaar zijn (betreffende de massaverdeling), onvoldoende gedefinieerd zijn (wat is een "grootste gemiddelde afmeting"?) of geen objectieve maatstaf geven ("zoveel mogelijk benaderen").

In de praktijk worden allerhande sorteringen gevraagd, die meestal onvoldoende gedefinieerd en veelal niet leverbaar zijn. Een goede objectieve kwaliteitscontrole wordt meestal ook niet uitgevoerd. Uit het voorgaande volgt, dat willekeur en toeval met betrekking tot kwaliteit en keuring veel voorkomen.

Enkele voorbeelden maken een en ander nog duidelijker. Als lichte breuksteen wordt in Nederland wel 5 - 50 kg gevraagd, 10 - 60 kg, 20 - 80 kg, etc. In al deze gevallen kan door een producent precies dezelfde sortering geleverd worden.

Er bestaat veelal een traditonale ervaring met bepaalde sorteringen. Een gebruiker weet dan ook welke steen hij krijgt bij bestelling bij een bepaalde producent van steen met een bepaalde aanduiding van de sortering. Deze aanduiding betekent voor ontwerpers veelal heel iets anders. Traditioneel was een 10 - 60 kg veelal veel lichter dan de aanduiding ontwerpkundig deed vermoeden. Het is dan ook voorgekomen, dat om deze reden een geleverde werkelijke 10 - 60 kg veel te zwaar bleek te zijn, of traditioneel bestelde steen ontwerpkundig veel te licht.

Uit het voorgaande blijkt, dat een goede definiëring van steensorteringen evenals objectieve keuringsmethoden dringend gewenst zijn. Deze sorteringen moeten produceerbaar zijn en eenduidig gedefinieerd voor producenten, ontwerpers, gebruikers en keuringsdiensten.

9.2. De situatie in het buitenland.

Voor het definiëren van steensorteringen en het vaststellen van keuringsmethoden in Nederland, is het van belang rekening te houden met wat dienaangaande in het buitenland geregeld is. Hierbij zijn vooral de landen relevant, waaruit voor gebruik in Nederland breuksteen betrokken wordt. Alleen in West-Duitsland is een voorschrift aanwezig, dat van belang is. Dit voorschrift wordt veelal ook in de Scandinavische landen toegepast.

In het voorschrift "Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine" (4) worden 5 sorteringen genoemd. Deze sorteringen zijn gedefinieerd op basis van de lengte van de steenstukken. In tabel 3 zijn deze sorteringen genoemd evenals de aanduidingen, die aan deze sorteringen in Nederland ongeveer zouden worden.

Tabel 3. Sorteringen breuksteen in West-Duitsland

Klasse	afmetingen cm	Nederlandse equivalente aanduiding (ongeveer)
I	10 - 15	40/90 mm *
II	15 - 25	90/150 mm
III	15 - 45	90/250 mm
IV	20 - 60	1 - 60 kg
V	35 -100	10 -250 kg

* zeefopeningen met vierkante gaten.

De keuring van de Duitse sorteringen bestaat uit het aselekt nemen van tien steenstukken en het bepalen van de grootste lengte van deze stukken. Met dit meetresultaat en visuele beoordeling wordt nagegaan of de sortering aan normen voldoet. In twijfelgevallen wordt de lengte van 50 steenstukken bepaald. Van het steenmateriaal mag maximaal 20 % (m/m) een geringere lengte hebben dan de nominale ondergrens en maximaal 10 % (m/m) een grotere lengte dan de nominale bovengrens.

De volgende aanmerkingen kunnen gemaakt worden op de Duitse normen:

- De aanduiding van sorteringen met lengtematen van steenstukken geeft ontwerpkundig weinig houvast.
- De sorteringen I t/m IV worden mechanisch gesorteerd op grond van zeefmaten (meest vierkante of sleufvormige zeefopeningen) en niet op lengte. Er bestaat dus geen directe relatie tussen de maten, waarop gesorteerd wordt en de maten, waarmee de sorteringen aangegeven worden. Dit is wel het geval bij de Nederlandse aanduidingen van de fijne sorteringen.
- De sorteringen IV en V kunnen volgens de definitie zeer breed zijn. In de praktijk zijn deze sorteringen minder breed. Zo komt sortering IV meestal overeen met ongeveer de sortering 5 - 40 kg.
- Het aantal steenstukken, dat bij een keuring volgens het Duitse voorschrift wordt gemeten is te gering voor een nauwkeurige en betrouwbare bepaling van de grofheid van een sortering.

9.3. Sorteringen voor de Nederlandse waterbouw.

Sorteringen breuksteen voor de Nederlandse waterbouw kunnen standaard-sorteringen zijn of sorteringen, die gedefinieerd worden op grond van functionele eisen, die voor een bepaalde constructie gelden. Het is aan te bevelen zoveel mogelijk uit te gaan van standaardsorteringen, omdat dit de volgende voordelen heeft:

Zekerheid, dat deze sorteringen geleverd kunnen worden zonder hiernaar onderzoek te hoeven doen.

Bevordering van het ontstaan van kwalitatief betrouwbare sorteringen. Het aangeven van de kwaliteit en de keuringswijze in standaardbestekbepalingen en normen hetgeen misverstanden en fouten tegengaat.

Vermijden van wildgroei in gevraagde sorteringen, waaraan productie-technisch niet beantwoord wordt of kan worden.

Het in principe goedkoper leverbaar zijn van standaardsorteringen dan van allerhande afwijkende sorteringen.

Een nadeel van een beperkt aantal standaardsorteringen is beperking van de ontwerp-technische keuzevrijheid hetgeen tot een minder optimaal ontwerp kan leiden. In elk geval zullen er altijd incidenteel bijzondere functionele eisen gelden, waaraan met standaardsorteringen niet beantwoord kan worden.

De wens om tot een beperkt aantal standaardsorteringen te komen is productie-technisch vooral aanwezig voor de sorteringen, die machinaal geselecteerd worden en waarbij de instelling van de apparatuur lastig of beperkt gevarieerd kan worden.

Hierna worden aanbevelingen gegeven voor de definiëring van sorteringen en worden standaardsorteringen voorgesteld.

9.3.1. Zware steensorteringen.

De eisen, die aan zware steensorteringen gesteld kunnen worden, zijn afhankelijk van de nauwkeurigheid, waarmee men visueel de massa van een zwaar steenstuk kan schatten. Deze voorwaarde weegt nogal zwaar, omdat visuele selectie van deze sorteringen gebruikelijk is en het voordeligst.

Een zeer nauwkeurige selectie door preciese weging van steenstukken is in principe mogelijk maar beperkt de productiecapaciteit.

Het is ook van belang of alle steenstukken van een hoop gesprongen steen in sorteringen ingedeeld moeten worden of dat slechts een of enkele sorteringen geselecteerd moeten worden, die niet aansluiten op andere te selecteren sorteringen. In het laatste geval kan men "veiliger" selecteren, omdat men dan steenstukken die naar schatting te licht of te zwaar zouden kunnen zijn uit de sortering kan laten. Dit leidt echter tot een geringere opbrengst.

De eisen, die aan de massaverdeling van een sortering gesteld worden, zijn onderling min of meer afhankelijk. Deze afhankelijkheid mag niet leiden tot een niet of nagenoeg niet kunnen voldoen aan de gezamenlijke eisen, zoals bijvoorbeeld het geval is met de eisen, die aan 10-80 kg gesteld worden volgens de A.V.W. 1968. De daarbij vereiste gemiddelde massa van de steenstukken van 40-45 kg kan immers niet bereikt worden zonder een aanzienlijke overschrijding van de 80 kg - grens.

Bij het stellen van eisen moet bovendien rekening gehouden worden met een zekere mate van breuk door transport en overslag.

De wenselijkheid om zware sorteringen als standaardsorteringen te hanteren voor toepassing in de Nederlandse waterbouw is niet groot, omdat de sorteringsgrenzen produktie-technisch gemakkelijk verlegd kunnen worden. Bovendien worden de zware sorteringen incidenteel en vooral bij grote waterbouwkundige werken toegepast. Het rekening houden met specifiek geldende omstandigheden bij de formulering van zware sorteringen is hierbij beter uitvoerbaar dan bij meer gangbare lichtere sorteringen.

Ervaringen en beschouwingen met betrekking tot de zware steensorteringen voor de Stormvloedkering Oosterschelde geven in elk geval aan wat dienaangaande mogelijk is, zodat bij de formulering van dergelijke sorteringen daarmee rekening gehouden kan worden.

Bij de bouw van de Stormvloedkering Oosterschelde zijn grote hoeveelheden zware sorteringen breuksteen toegepast. Hierbij golden voor de massaverdeling de volgende eisen:

Een eis voor de maximaal toelaatbare massa van een steenstuk. Deze eis is gesteld om een grens te stellen aan de afmetingen van de steenstukken met het oog op de laagdikte, waarin de betreffende sortering werd aangebracht. Het zwaarste steenstuk bepaalt soms ook de grootte van een in te zetten grijper of de bruikbaarheid van een beschikbare grijper.

Er kunnen bijzondere eisen gesteld worden met betrekking tot de massa van de zwaarste steenstukken van een sortering, indien dit om andere redenen nodig is. Bij de Stormvloedkering betrof dit bijvoorbeeld een deel van een zware steen-

sortering vanwege het gevaar van beschadiging van een betonnen deel van de constructie bij het storten van de betreffende sortering. Hierbij werd een absolute grens gesteld voor het zwaarste steenstuk op 1,5 maal de nominale bovengrens.

Normaal werd maximaal 3 % (m/m) boven de voornoemde grens toegelaten. Dit betekende maximaal één steenstuk zwaarder 1,5 maal de nominale bovengrens in de verzameling deelmonsters (minimaal 120 steenstukken) op grond waarvan de kwaliteit beoordeeld werd. Om aan de keuringseis te voldoen mocht daarom slechts zeer incidenteel een voornoemd zwaar steenstuk in het geproduceerde materiaal voorkomen.

Een eis voor de maximaal toelaatbare hoeveelheid steenstukken met een grotere massa dan de nominale bovengrens van de sortering. Deze maximale hoeveelheid was steeds 30 % (m/m). Een verlaging van dit maximaal toelaatbare gehalte steenstukken zou tot een beperking leiden van de haalbaarheid van de eisen voor de gemiddelde massa van de steenstukken.

De nauwkeurigheid, waarmee visueel geselecteerd kan worden laat bovendien een aanzienlijke verscherping van deze norm niet toe.

Een eis voor de gemiddelde massa van de steenstukken exclusief de scherven. Ontwerpkundig bestond de voorkeur een eis te stellen aan de M_{50} in plaats van de gemiddelde massa. Omdat M_{50} voor het personeel in steengroeven een onbekend begrip is en bovendien lastiger te bepalen is dan de gemiddelde massa, is hiervan afgezien. De scherf is gedefinieerd als een steenstuk met een geringere massa dan $2/3$ deel van de nominale ondergrens van de sortering. De definitie van een scherf is min of meer praktisch bepaald. Hierbij gold de overweging, dat scherven, die naar aantal slechts een geringe invloed op de M_{50} uitoefenen, geen invloed op de te berekenen gemiddelde massa mochten hebben. De term scherven verwijst naar fijne steenstukken, die door breuk ontstaan, nadat de selectie van de sortering reeds is uitgevoerd of die ten onrechte bij de selectie in de sortering worden opgenomen. De grensmassa van een scherf is dan ook zodanig genomen, dat visueel beoordeeld met vrijwel absolute zekerheid de massa van een scherf geringer is dan van de nominale ondergrens.

Behalve bij de allerzwaarste sorteringen is voor de gemiddelde massa van de steenstukken een gebied gekozen, dat 20 tot 30% bedroeg van het verschil tussen de nominale grenzen van de sorteringen. Het midden van dit gebied lag bij deze sorteringen 5% lager dan het gemiddelde van de nominale grenzen. Bij de zwaarste en tevens smalste sorteringen was de verschuiving niet aanwezig.

Bij brede sorteringen is een dergelijke verschuiving nodig, omdat in het algemeen het aantal steenstukken toeneemt naarmate de massa van de steenstukken geringer is. De gemiddelde massa is daardoor geringer dan het gemiddelde van de nominale grenzen van de sortering.

Op grond van ervaringen met proefleveringen is de ondergrens van het gebied, waarin de gemiddelde massa van de steenstukken na aanvoer moest liggen 5% lager gesteld, dan bij keuring in de groeve. Hiermee werd de invloed van breuk bij transport en overslag verdisconteerd.

Een eis voor de maximaal toelaatbare hoeveelheid steenstukken met een geringere massa dan de nominale ondergrens van de sortering.

Deze maximale hoeveelheid was voor elke sortering 10 % (m/m) in de groeve en 15 % (m/m) na aanvoer. Meestal was deze eis met betrekking tot de gemiddelde massa eerder maatgevend dan de eis betreffende de overschrijding van de nominale ondergrens.

Een eis betreffende het gehalte scherven. Het gehalte scherven mocht bij keuring in de groeve maximaal 1 % (m/m) zijn. Bij het lossen van ladingen na aanvoer mochten scherven in het schip achterblijven en geretourneerd worden. Bij een goede werkwijze bij transport en overslag kon het gehalte scherven na aanvoer tot naar schatting enkele procenten beperkt blijven. Beperking van het gehalte scherven was gemakkelijker naarmate het een zwaardere sortering betrof.

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de zware sorteringen en de daarvoor geldende eisen, die voor de bouw van de Stormvloedkering zijn toegepast. Deze eisen golden bij keuring in de groeve.

Tabel 4. Zware sorteringen breuksteen

Sortering kg	max. 1% (m/m) < a (scherven)	max. 10 (15)% (m/m) < b	gemiddelde massa exclusief scherven	max. 30% (m/m) > c	max. 3% (m/m) > d
	a, kg	b, kg	kg	c, kg	d, kg
300 - 1 000	200	300	540 (513) - 690	1 000	1 500
1 000 - 3 000	650	1 000	1 750 (1 615) - 2 100	3 000	4 500
3 000 - 6 000	2 000	3 000	4 200 (3 990) - 4 800	6 000	9 000
6 000 - 10 000	4 000	6 000	7 500 (7 125) - 8 500	10 000	15 000
10 000 - 15 000	6 500	10 000	11 750 (11 163) - 13 250	15 000	22 500
15 000 - 20 000	10 000	15 000	16 250 (15 437) - 18 750	20 000	30 000
20 000 - 25 000	13 500	20 000	21 000 (19 950) - 24 000	25 000	37 500

Tussen haakjes zijn afwijkende waarden vermeld, die na aanvoer golden.

De eisen zijn geformuleerd op grond van de voornoemde overwegingen, ontwerp-kundige beschouwingen en de ervaringen met proefleveringen van steen van zeven herkomsten.

Aan twee producenten is levering van de zware steensorteringen opgedragen. Gedurende het eerste produktiejaar bleek, na enige aanloopproblemen en enkele wijzigingen in het produktie- en overslagproces, dat aan de eisen goed kan worden voldaan. Een goede visuele selectie kon na enkele weken tot een maand worden bereikt. Hierbij was een intensieve begeleiding en instructie van kraan- of wielladermachinisten, die de selectie uitvoerden noodzakelijk. Terugkoppeling van de resultaten van keuringen speelde daarbij een belangrijke rol.

Uit de ervaringen is geconcludeerd, dat de eisen, die volgens tabel 4 in de groeve gehanteerd werden ook bij keuring na aanvoer kunnen gelden, met dien verstande, dat voor het schervengehalte maximaal 2 % (m/m) toegestaan moet worden.

9.3.2. Lichte steensorteringen.

De eisen die men aan lichte steensorteringen kan stellen zijn vrij sterk afhankelijk van produktie-technische en economische factoren.

Omdat de relatie tussen breker- of zeefopeningen en de massa van een steenstuk, dat juist kan passeren niet scherp is, kan minder goed op een bepaalde grensmassa geselecteerd worden dan bij visuele selectie. Dit leidt tot bredere massaverdelingen dan bij zware sorteringen. Ook bij visuele selectie van de sortering 60-300 kg is de betreffende breedte van de sorteringen noodzakelijk om met een poliepkraan een aanvaardbare produktie te kunnen bereiken, die aan de eisen voldoet.

De eisen die aan lichte sorteringen gesteld worden moeten ook zodanig zijn, dat bij gelijktijdige machinale produktie van twee in zwaarte op elkaar aansluitende sorteringen aan de eisen voldaan kan worden. Dit betekent dat uitgezeefd fijn materiaal bij de produktie van 60-300 kg niet te veel of te weinig zwaar materiaal mag bevatten voor de sortering 10-60 kg.

Vooraf door de uitvoering van enkele grote waterbouwkundige werken, de Stormvloedkering Oosterschelde en een nieuwe oeverbescherming van het Hartelkanaal, is veel kennis verkregen over de produktiemogelijkheden van lichte sorteringen. Dit geldt vooral voor de sortering 10-60 kg, waarvan de produceerbaarheid in zeer veel groeven in noordwest-Europa is onderzocht.

Het is vooral bij de lichte sorteringen gewenst om tot standaardsorteringen te komen voor de Nederlandse waterbouw, omdat deze sorteringen veel worden toegepast, er een wanorde bestaat met betrekking tot gevraagde sorteringen en omdat het produktie-technisch slechts mogelijk is een zeer beperkt aantal sorteringen te leveren.

De volgende standaardsoorteringen worden voorgesteld: 5-40 kg. 10-60 kg en 60-300 kg. De eisen voor deze sorteringen worden in tabel 5 genoemd.

Tabel 5. Lichte standaardsoorteringen breuksteen

Sortering	max. 2% (m/m) < a (scherven)	max. 10% (m/m) < b	gemiddelde massa exclusief scherven	max. 30% (m/m) c	max. 3% (m/m) d
	a, kg	b, kg	kg	c, kg	d, kg
5 - 40 kg	2	5	10 - 20	40	80
10 - 60 kg	2	10	20 - 35	60	120
60 -300 kg	30	60	130 - 190	300	450

De sorteringen zijn breder dan de zware sorteringen.

De sortering 5-40 kg komt ongeveer overeen met de Duitse klasse IV. De sortering 5-40 kg is veel beter dan 10-60 kg geschikt voor toepassing in een met gietasfalt te penetreren glooiing in verband met de gewoonlijk toegepaste laagdikten. De sortering 10-60 kg heeft dan meer holle ruimte dan 5-40 kg, waardoor meer asfalt nodig is voor penetratie. Bovendien is de minimaal bereikbare laagdikte bij toepassing van 10-60 kg groter. Een lichtere sortering dan 5-40 kg wordt met zeefmaten aangeduid (zie 9.3.3. "Fijne steensorteringen").

De sortering 10-60 kg kan in principe met dezelfde breek-zeefinstallatie geproduceerd worden als de 5-40 kg indien de bovengrens door de breker bepaald wordt. Voor 10-60 kg wordt in dat geval de brekeropening iets ruimer gesteld dan voor de produktie van 5-40 kg.

Het produceren van een sortering 10-60 kg met een hogere gemiddelde massa dan 20-35 kg leidt tot produktie-technische bezwaren. Bij de nieuwe oeverbescherming voor het Hartelkanaal, waarvoor breuksteen met een gemiddelde massa van 25-40 kg werd geëist kwam mede hierdoor een nogal veelvuldig niet voldoen aan de eisen voor.

Bij het voornoemde werk is gebleken dat met bestorting van 700 kg breuksteen 10-60 kg per m² een juist voldoende dichte glooiing gemaakt kon worden indien de sortering niet meer dan 3 % (m/m) steenstukken bevatte met een grotere massa dan 120 kg.

De sortering 60-300 kg kan in principe bij visuele selectie goed aan de eisen voldoen. Ook bij een machinale produktie is dit het geval. Zelfs bij het gelijktijdig produceren van 10-60 kg en 60-300 kg met een zeefinstallatie met diverse profielenzeven voldeden de beide sorteringen goed aan de eisen. Het gesteente betrof hierbij diabaas.

De eisen voor de sorteringen zijn zodanig, dat indien de gemiddelde massa dicht bij de bovengrens van de aangegeven gebieden ligt, de kans op het niet voldoen aan de 3%-norm al betrekkelijk groot is. Dit geldt vooral wanneer de steenstukken enigszins plat zijn of meer dan een gemiddeld gehalte platte steenstukken voorkomt. Om dan aan de eisen te kunnen voldoen moet men het gebied, waarin de gemiddelde massa van de steenstukken mag liggen beperken. Dit geldt bijvoorbeeld in het algemeen al voor gneis, terwijl dit gesteente toch niet zoveel platter materiaal betreft dan gemiddeld het geval is.

De in tabel 5 genoemde eisen gelden na aanvoer. De producent moet dus ook rekening houden met enige breuk om na aanvoer verzekerd te kunnen zijn van het voldoen aan de eisen (zie ook hoofdstuk 3).

Het lijkt mogelijk dat de nogal grote sprong van de sortering 10-60 kg naar de eerstvolgende sortering, 60-300 kg, voor bepaalde toepassingen te groot geacht wordt. Als lichte sortering zou daarom ook 40-200 kg gevoerd kunnen worden.

Deze sortering kan visueel geselecteerd worden of machinaal. Bij visuele selectie geldt het eerdergenoemde bezwaar van arbeidsintensiviteit nog sterker dan voor 60-300 kg.

Door de producenten van breuksteen langs de Maas in België kan in principe machinaal 40-200 kg geproduceerd worden. Uit enige keuringservaringen met deze steen is gebleken, dat 40-200 kg van deze herkomst zeer veel te fijn materiaal kan bevatten. Het lijkt echter goed mogelijk dit gehalte tot een aanvaardbaar niveau te beperken. Een zorgvuldige werkwijze bij produktie en overslag, en wellicht nazeving met een rooster, is hiervoor nodig.

De volgende eisen kunnen met inachtneming van het voorgaande gelden:

- lichter dan 15 kg (scherven) : maximaal 2 % (m/m);
- lichter dan 40 kg : maximaal 10 % (m/m);
- gemiddelde massa exclusief scherven: 80-120 kg;
- zwaarder dan 200 kg : maximaal 30 % (m/m);
- zwaarder dan 300 kg : maximaal 3 % (m/m).

9.3.3. Fijne steensorteringen.

Bij het definiëren van fijne steensorteringen zijn de volgende factoren en overwegingen van belang:

- a. De sortering moet produceerbaar zijn.
- b. De eisen, die aan de korrelverdeling van de sortering gesteld worden moeten gangbare zeefmaten betreffen van zeven, waarmee het materiaal gekeurd kan worden.
- c. De D_{50} moet in de eisen goed begrensd zijn.
- d. De breedte van de sortering mag niet te groot zijn.

Ad a. Zeer smalle sorteringen kunnen niet geproduceerd worden. De verhouding D_{90}/D_{10} (zie Ad c) moet zeker niet geringer zijn dan 2. Het heeft ook geen zin diverse sorteringen met slechts geringe onderlinge verschillen te bestellen, omdat dan vrijwel zeker steeds hetzelfde materiaal geleverd zal worden.

Ad b. Het stellen van eisen aan een korrelverdeling impliceert tevens het controleren van de korrelverdeling. De eisen dienen dan ook gangbare zeefmaten te betreffen. Hiervoor komen de plaatzeven in aanmerking met vierkante gaten volgens NEN 2560 en door de WBD ontwikkelde draadzeven (figuur 8). De draadzeven zijn gemaakt om bij de keuring voldoende materiaal snel te kunnen zeven hetgeen met de grovere NEN-zeven dan zeef C 45 niet goed mogelijk is.

Van de NEN-zeven komen de meest gangbare in aanmerking. De draadzeven sluiten aan op de reeks NEN-zeven. De volgende zeven zijn goed bruikbaar voor de fijne sorteringen:

NEN 2560 - C 11,2; - C 16; - C 22,4; - C 31,5; - C 45;
draadzeven ϕ 63 mm; ϕ 90 mm; ϕ 125 mm; ϕ 180 mm en ϕ 250 mm.

Ad c. De D_{50} is de belangrijkste ontwerpmaat van een sortering (figuur 10). De D_{50} moet door de eisen voor een sortering vastliggen, waarbij vooral de minimaal vereiste waarde van belang is. Het eenvoudigst kan men deze aangeven door ten minste 50 % (m/m) te eisen op één van de onder ad b genoemde zeven. Indien bijvoorbeeld op zeef ϕ 63 mm 50 tot 90 % (m/m) geëist wordt, dan is de D_{50} minimaal 63 mm.

Ook kan men het gebied van D_{50} door enkele eisen begrenzen. In figuur 10 zijn als voorbeeld de volgende eisen aangegeven: op zeef ϕ 63 mm 60 tot 90 % (m/m) en op zeef ϕ 90 mm 20 tot 70 % (m/m). In dit geval zal bij het voldoen aan deze eisen de D_{50} tussen ongeveer 70 en 105 mm liggen.

Ad d. Om verschillende redenen mag de sortering niet te breed zijn. Naarmate een sortering breder is neemt het gevaar van ontmenging toe. Om de sortering ontwerpkundig nog als uniform te kunnen beschouwen (zie hoofdstuk 11) dient de verhouding van de toelaatbare uiterste waarden van D_{90} en D_{10} zeker niet de waarde 4 te overschrijden.

De D_{90} en de D_{10} kan men eenvoudig begrenzen door te eisen dat niet meer dan 10 % (m/m) op of door een zeef gaat. Men kan ook het verloop van de korrelverdeling aan de grove en fijne zijde van de sorteringen door eisen voor meerdere zeeffrakties begrenzen. Zo kan men bijvoorbeeld eisen, dat op zeef ϕ 180 mm niet meer dan 5 % (m/m) mag voorkomen en op zeef ϕ 125 mm niet meer dan 15 % (m/m).

De fijne steensorteringen worden meestal aangegeven met twee zeefmaten zoals bijvoorbeeld 80/200 mm. Dit kunnen maten van bestaande dan wel theoretische zeven zijn. Door de producent wordt een fijne steensortering meestal met de twee zeefmaten aangeduid van de zeven waarmee de sortering geproduceerd wordt. Deze aanduiding suggereert een grover materiaal dan in werkelijkheid het geval is, omdat op de zeef die de nominale bovengrens aangeeft geen materiaal blijft liggen en door de zeef waarmee de nominale ondergrens wordt aangegeven, tot tientallen procenten kunnen passeren door een onvolledige zeving. Ontwerpkundig is men geneigd te veronderstellen dat de D_{50} ongeveer overeenkomt met het gemiddelde van de nominale grenzen van de sortering. Het is goed om hiermee bij de aanduiding van de sortering rekening te houden. Bovendien kunnen als voorwaarden gesteld worden, dat de nominale bovengrens ge-

ringer is dan de eerstvolgende zeef waarop minder dan 10 % (m/m) blijft liggen en dat de nominale ondergrens groter is dan de eerstvolgende (fijnere) zeef waar minder dan 10 % (m/m) doorheen gaat. De sortering volgens figuur 10 zou men dan met 40/120 mm aan kunnen geven.

Ook al is het produktie-technisch in het algemeen gemakkelijker om de grofheid van fijne sorteringen te variëren dan van lichte sorteringen, biedt het toch veel van de eerder genoemde voordelen een aantal standaardsorteringen te definiëren.

In tabel 6 wordt een voorstel gedaan voor vier standaardsorteringen fijne breuksteen.

Tabel 6. Fijne standaardsorteringen breuksteen

Sortering	80/200 mm	50/150 mm	40/100 mm	30/80 mm
gesommeerd in % (m/m) op zeef				
φ 250 mm	≤ 10			
φ 180 mm		≤ 10		
φ 125 mm	50 - 90		≤ 10	
φ 90 mm		50 - 90		≤ 10
φ 63 mm	≥ 90		50 - 90	
NEN 2560 - C 45		≥ 90		50 - 90
" " - C 31,5			≥ 90	
" " - C 22,4				≥ 90
D ₅₀ mm	125 - ~ 200	90 - ~ 150	63 - ~ 100	45 - ~ 70

De voorgestelde standaardsorteringen voldoen aan de eerder genoemde voorwaarden voor fijne sorteringen. De sorteringen voldoen ook aan de eisen die functioneel gesteld kunnen worden (zie hoofdstuk 11).

De minimale M₅₀-waarde van 80/200 mm is ongeveer 1/4 van de overeenkomstige waarde van 5-40 kg. De minimale M₅₀-waarde van de voorgestelde fijne standaardsorteringen is telkens ongeveer 1/3 deel van de overeenkomstige waarde van de aansluitende grovere sortering.

De voorgestelde fijne en lichte standaardsorteringen sluiten daarmee goed op elkaar aan.

10. De relatie tussen de korrel- en de massaverdeling.

Het is ontwerp-kundig noodzakelijk van sorteringen breuksteen zowel eigenschappen van de massaverdeling als van de korrelverdeling te kennen. Zo is voor de toepassing van filterregels de kennis van D_x -waarden vereist en voor stabiliteitsberekeningen M_x -waarden.

Van fijne steensorteringen zijn gewoonlijk slechts eigenschappen van de korrelverdeling bekend en van lichte en zware sorteringen eigenschappen van de massaverdeling. Het is daarom noodzakelijk korrelverdelingen in massaverdelingen om te kunnen zetten en omgekeerd.

Deze omzetting is ook van belang voor verschaling van een sortering voor modelonderzoek naar de stabiliteit of de dichtheid van los gestort of verdicht materiaal.

De vertaling van een massa van een steenstuk in afmetingen is tenslotte van belang ter bepaling van de gewenste of vereiste dikte van lagen steen of voor de bepaling van afmetingen van materieel zoals poliepgrijpers.

Van twee sorteringen fijne breuksteen is onderzocht hoe groot bij rechtstreekse omzetting van een korrel- in een massaverdeling de "vertaalfouten" waren (12). Onder "rechtstreekse omzetting" wordt een zodanige omzetting verstaan dat de punten van een korrelverdeling met behulp van een relatie tussen massa en zeefmaat omgezet worden in punten van een massaverdeling, waarvoor hetzelfde cumulatieve percentage geldt. Voor de genoemde relatie is de vorm

$$M = a \cdot \rho_k z^b \text{ gekozen, waarin } a \text{ en } b \text{ constanten zijn.}$$

Door het bepalen van de massa en de zeefmaat van veel steenstukken met zeefmaten tussen ϕ 30 en ϕ 180 mm en door het uitvoeren van orthogonale regressieberekeningen zijn de constanten a en b bepaald.

Door een rechtstreekse omzetting van een korrelverdeling in een massaverdeling bleven de fouten in het algemeen tot kleinere waarden beperkt dan 10%. Dit gold vooral indien in de korrelverdeling geen relatief lange delen voorkwamen met een geringe toeneming van de gesommeerde zeefrest.

Van lichte en zware sorteringen breuksteen is de relatie tussen massa en dikte van de steenstukken bepaald (13). Dit betrof zes verschillende soorten steen en de sorteringen 60-300 kg tot 6.000-10.000 kg. De gemiddelde waarde van d/l van deze sorteringen breuksteen varieerde tussen 0,47 en 0,53.

Van vier soorten breuksteen is zoals voornoemd de relatie tussen massa en zeefmaat bepaald. Van drie van deze fijne sorteringen breuksteen was de gemiddelde waarde d/l ongeveer 0,44 en de gemiddelde waarde d/z ongeveer 0,75. De vierde fijne sortering betrof zeer plat materiaal met een gemiddelde d/l van 0,33 en een gemiddelde d/z van 0,59.

Er is aangenomen, dat $d/z = 0,75$ in het algemeen ook voor sorteringen lichte en zware breuksteen geldig is, zodat voor alle onderzochte breuksteen zowel de relatie tussen massa en dikte als tussen massa en zeefmaat bepaald kon worden. Hieruit zijn de volgende algemeen toepasbare relaties bepaald (waarbij zoals gebruikelijk z en d in mm zijn uitgedrukt):

$$M = 0,6 \cdot 10^{-9} \cdot \rho_k \cdot z^3 \text{ en}$$

$$M = 1,4 \cdot 10^{-9} \cdot \rho_k \cdot d^3.$$

De fouten, die bij algemene toepassing van deze relaties ontstaan zullen gewoonlijk tot minder dan 10% beperkt blijven.

De invloed van de waarde d/l op de massa is niet groot. Bovendien kan een af- of toeneming van d/l in beide gevallen zowel een vergroting als een verkleining van de massa van een steenstuk betreffen. Indien een verkleining van d/l namelijk veroorzaakt wordt door een grotere lengte dan neemt de massa toe. Wordt daarentegen de verkleining van d/l veroorzaakt door een kleinere dikte dan neemt de massa af.

De genoemde relaties tussen massa en afmetingen van steenstukken betreffen gemiddelde waarden.

Van veel sorteringen en soorten breuksteen is nagegaan hoe de dikte en de lengte van steenstukken met een bepaalde massa kunnen variëren.

Deze variaties zijn uitgedrukt in

$$\frac{s_d}{\bar{d}} \cdot 100\% \text{ en } \frac{s_l}{\bar{l}} \cdot 100\%. \text{ (variatie coëfficiënten).}$$

Van tien onderzochte soorten breuksteen varieerde $\frac{s_d}{\bar{d}} \cdot 100\%$ tussen 10 en 20% en was gemiddeld 15%.

De waarde $\frac{s_l}{\bar{l}} \cdot 100\%$ varieerde tussen 8 en 13% en was gemiddeld 10%.

Deze waarden lijken betrekkelijk klein. Ze gelden echter, zoals reeds vermeld, voor steenstukken met eenzelfde massa.

11. De relatie tussen ontwerpregels en aan breuksteen te stellen eisen.

11.1. Diameter en dikte van steenstukken; relaties tussen de op diverse wijzen gedefinieerde afmetingen van steenstukken.

Materiaalkundig worden de volgende grootheden betreffende steensorteringen, de diameter en de dikte van steenstukken gehanteerd:

z : zeefmaat, betrekking hebbend op zeven met vierkante openingen;

D_x : de zeefmaat van een theoretische zeef met vierkante openingen, waardoor x % (m/m) van de steenstukken van de betreffende sortering doorheen gaat;

d : de dikte van een steenstuk, gedefinieerd als de minimale afstand tussen 2 evenwijdige rechten, waartussen het steenstuk nog juist kan passeren.

Ontwerpkundig worden behalve de D_x ook de volgende grootheden gebruikt:

D : diameter van een steenstuk, gedefinieerd als $D = \sqrt[3]{2V}$, waarin V het volume van het steenstuk is (10, blz. 162);

D_n : nominale steendiameter, gedefinieerd als $D_n = \sqrt[3]{V}$

In ontwerpformules kan zowel van D als D_n uitgegaan worden, omdat het verschil een constante betreft, die bij andere toch al aanwezige constanten gevoegd kan worden.

Met behulp van de in hoofdstuk 10 genoemde relaties tussen de massa, de zeefmaat en de dikte kunnen de voornoemde zeefmaten z en D_x en de dikte d in verband gebracht worden met de massa M . Uit M kunnen D en D_n bepaald worden door in de respectievelijke relaties $V = \frac{M}{\rho_k}$ in te vullen.

Hieruit volgt $D = 1,06 D_x$ en $D_n = 0,84 D_x$.

Om verwarring te voorkomen zou het aan te bevelen zijn de diameter van een steenstuk slechts met één maat aan te geven. Hiervoor kan het beste de zeefmaat gebruikt worden, omdat dit een aan het materiaal zelf te meten grootheid is.

Ontwerpkundig wordt als massa de grootheid M_x gehanteerd. Met de in hoofdstuk 10 genoemde relatie tussen de massa en de zeefmaat kan M_x in D_x uitgedrukt worden.

11.2. De relatie tussen \bar{M} en M_{50} .

Ontwerpkundig is vooral de waarde M_{50} van belang. Met betrekking tot eisen en keuring van lichte en zware steensorteringen wordt M_{50} echter niet ge-

hanteerd, omdat dit voor de praktijk te lastig is. In plaats daarvan wordt met de gemiddelde massa van de steenstukken van een sortering gewerkt, die met \bar{M} wordt aangeduid. Hierom is het van belang \bar{M} in M_{50} te kunnen omzetten.

In principe is M_{50} groter dan \bar{M} . Dit geldt niet indien een sortering zeer veel scherven zou bevatten, omdat scherven niet meegerekend worden bij de bepaling van \bar{M} (zie hoofdstuk 9). Het verschil tussen \bar{M} en M_{50} is procentueel groter naarmate de sortering breder is. Per sortering is dit verschil afhankelijk van het verloop van de massaverdeling. Bij een steil verlopende massaverdeling is bijvoorbeeld het verschil tussen M_{50} en \bar{M} geringer dan bij een flauw verlopende verdeling (figuur 9).

Uit veel keuringsresultaten van de sortering 10-60 kg is gebleken, dat M_{50} ongeveer 6 tot 12 kg groter is dan \bar{M} . Dit is ongeveer 30%.

Van de sortering 5-40 kg is dit verschil ook ongeveer 30% of iets meer. Dit is gebleken uit slechts enkele waarnemingen.

Van zwaardere sorteringen dan 10-60 kg zijn eveneens slechts weinig meetresultaten bekend. Globaal kan gezegd worden, dat voor sorteringen met nominale grenzen tussen 60 kg en 1.000 kg M_{50} 15 tot 10% groter is dan \bar{M} . Voor zwaardere sorteringen is het verschil ongeveer 5%.

11.3. Weerstand tegen stroming (literatuur 10, 15 en 16).

Bij het ontwerp van constructies, waarin steensorteringen weerstand moeten bieden aan stroming wordt uitgegaan van ontwerpformules van de gedaante:

$$D = \frac{b}{\Delta} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \gamma}}} \quad (10),$$

waarin D de diameter is van het maatgevende steenstuk.

In vereenvoudigde vorm is deze formule ook te schrijven als: $\bar{u} = c \sqrt{\Delta \cdot D}$, waarin c een coëfficiënt is, waarvan de waarde afhankelijk is van de omstandigheden, waaronder de sortering wordt toegepast en tevens van de definitie van de maatgevende steendiameter.

Een niet te brede sortering breuksteen, die weerstand moet bieden aan stroming kan ontwerpkundig gelijk gesteld worden aan een verzameling steenstukken met eenzelfde diameter, namelijk D_{50} .

Als voorwaarde hiervoor geldt, dat de sortering moet voldoen aan $D_{95}/D_5 \leq 4,0$.

Bij zeer brede sorteringen kan bij blootstelling aan stroomaanval het zogenaamde pantsereffect optreden, waarbij fijn materiaal uit de sortering wordt afgevoerd en een grovere sortering achterblijft. De voor de stroomweerstand bepalende diameter van een steenstuk is dan groter dan de D_{50} van de oorspronkelijke sortering.

Een begin van pantsering treedt op bij sorteringen, waarbij $D_{95}/D_5 > 4 \text{ à } 5$ is. Tevens is het van belang, dat de toegepaste laagdikte groot is ten opzichte van de diameter van de afzonderlijke steenstukken. Bij ontmengde sorteringen kan niet worden gerekend op een pantsereffect zonder aanzienlijke verliezen. Voor de in hoofdstuk 9 genoemde fijne sorteringen breuksteen geldt, dat D_{95}/D_5 maximaal 4,0 is. Voor de breedste sortering van de lichte en zware sorteringen, namelijk 5-40 kg geldt, dat D_{95}/D_5 maximaal gelijk is aan 3,0. Voor zowel de fijne als voor de lichte en zware sorteringen kan derhalve van de D_{50} als maatgevend voor de stroomaanval worden uitgegaan.

De weerstand tegen stroming van een steensortering is afhankelijk van een afmeting (zie 11.1.), behorend bij M_{50} en van de dichtheid.

Door de eisen, die aan de korrelverdeling of massaverdeling gesteld worden, wordt de D_{50} of M_{50} binnen een bepaald gebied begrensd. Hiermee wordt de mogelijke variatie in weerstand tegen stroming eveneens begrensd.

De verhouding tussen de maximale en minimale weerstand tegen stroming varieert van fijne tot lichte sorteringen van ongeveer 1,3 tot 1,1 (Appendix, 1.).

Bij toenemende zwaarte van de sortering neemt de mogelijke variatie per sortering in weerstand tegen stroming af.

De invloed van de dichtheid op de weerstand tegen stroming is in figuur 11 weergegeven (Appendix, 1.).

11.4. Weerstand tegen golfaanvallen (literatuur 17,18 en 22).

Bij het ontwerp van aan golfaanval blootgestelde constructies, zoals golfbrekers en taludbekledingen van breuksteen, wordt uitgegaan van de formule van Hudson :

$$M = \frac{\rho_k \cdot H^3}{k \cdot \Delta^3 \cdot \cotg.\alpha} ,$$

waarin M de massa is van het maatgevende steenstuk.

De ontwerp-golfhoogte H komt overeen met de gemiddelde golfhoogte van het hoogste derde deel van alle golven.

Als M vervangen wordt door $0,5 \cdot \rho_k \cdot D^3$ dan blijkt na enige herleiding:

$$H_{\max.} \approx \Delta \cdot D.$$

De formule van Hudson wordt vooral toegepast bij zware steensorteringen en steile taluds. Bij fijnere sorteringen worden veelal aanzienlijk flauwere taluds toegepast. Voor het ontwerp wordt hierbij van andere formules gebruik gemaakt, die gebaseerd zijn op het toelaten van een zekere mate van transport van het steenmateriaal. Indien echter ook hier als uitgangspunt wordt gekozen, dat geen stabiliteitsverlies, dus geen transport optreedt, dan geldt wederom eenzelfde kenmerkende relatie als bij de zwaardere sorteringen (17).

Een niet te brede sortering breuksteen, die weerstand moet bieden aan golfaanvallen kan ontwerpkundig gelijk gesteld worden aan een verzameling steenstukken met eenzelfde massa, namelijk M_{50} .

In (22) worden voor de geldigheid van het bovenstaande als voorwaarden aangegeven, dat het zwaarste steenstuk geen grotere massa heeft dan 3,6 maal M_{50} en het lichtste steenstuk geen geringere massa dan 0,22 maal M_{50} .

Voor de in hoofdstuk 9 genoemde fijne sorteringen breuksteen geldt bij een dichtheid van 2800 kg/m^3 , dat 3,6 maal de maximale M_{50} ongeveer overeen komt met de 1,2 maal de maximale D_{90} wat ongeveer gelijk is aan de zeefmaat van het grofste steenstuk.

De waarde van 0,22 maal de minimale M_{50} komt overeen met de massa van een steenstuk, waarvan de zeefmaat 1,2 tot 0,8 maal de minimale D_{10} is.

De gedefinieerde fijne sorteringen voldoen dus juist aan de genoemde voorwaarden of zijn iets te breed.

De sortering 5-40 kg is de breedste van de lichte en zware sorteringen.

Voor deze sortering geldt, dat 3,6 maal de maximale M_{50} ongeveer 95 kg is. De waarde 0,22 maal de minimale M_{50} komt overeen met de zwaarste scherf (2 kg). Hieruit volgt, dat 5-40 kg ongeveer aan de voorwaarden voldoet.

Bij zwaardere sorteringen is dit in ruimere mate het geval.

De weerstand tegen golfaanvallen is, wat de steensortering betreft afhankelijk van de M_{50} en van de dichtheid.

Door de eisen, die aan de korrelverdeling of massaverdeling gesteld worden, wordt de variatie van de golfhoogte H , waaraan de sortering nog juist weerstand kan bieden begrensd. De verhouding tussen de maximale en minimale golfhoogte varieert per sortering van fijne tot lichte sorteringen van ongeveer 1,6 tot 1,1 (Appendix, 2.).

Bij toenemende zwaarte van de sortering neemt de mogelijke variatie per sortering in weerstand tegen golfaanvallen snel af.

De invloed van de dichtheid op de weerstand tegen golfaanvallen is in figuur 12 weergegeven (Appendix, 2.).

11.5. Aan filterconstructies te stellen eisen. (literatuur 10, 19, 20 en 21).

Een filterconstructie van steen bestaat uit achtereenvolgens in grofheid toenemende lagen steen. De buitenste en grofste laag moet bestand zijn tegen de er op uitgeoefende stroming of golfaanvallen. De onderliggende lagen moeten elkaar zodanig in grofheid opvolgen, dat onder invloed van stroming en golfwerking geen materiaal door de grovere bovenliggende laag kan verdwijnen. Hierbij mogen geen ontoelaatbare wateroverdrukken vanuit de onderste lagen op de bovenste laag uitgeoefend worden.

Tegenwoordig wordt vaak een combinatie van een filterdoek met een daarop aangebracht filterpakket van steen toegepast.

De aan een filterconstructie te stellen eisen (filtereisen) betreffen voorwaarden, die voor de verhouding van kenwaarden van de massa- of korrelverdelingen van opeenvolgende lagen gelden.

Welke verhoudingsgetallen tussen de diameters van de steenstukken van de opeenvolgende lagen dienen te worden aangehouden, hangt in belangrijke mate af van de stromingsomstandigheden, gedefinieerd als een verhang in de onder- of bovenlaag. Cyclische verhangen (door golven) leiden tot kleinere verhoudingsgetallen dan stationaire verhangen.

Een ondergrens voor het verhoudingsgetal wordt verkregen door uit te gaan van een onder alle omstandigheden stabiele filteropbouw. Het is dan fysisch onmogelijk, dat er zonder structuurverlies van de bovenlaag materiaal uit de onderlaag wordt doorgelaten. Deze filters worden ook wel aangeduid met geometrisch of fysisch stabiele filters.

Op grond van berekeningen naar de grootte van de poriën in stapelingen met uniforme korrels (23) wordt bij een gemiddeld poriënvolume ϵ van 0,35 tot 0,40 de geometrische stabiliteit bereikt indien geldt:

$$\frac{D_{\text{bovenlaag}}}{D_{\text{onderlaag}}} \leq 2,5.$$

Bij niet-uniform materiaal kan het verhoudingsgetal wat groter worden. Voor sorteringen met $D_{60}/D_{10} = 2$ wordt bij $\epsilon = 0,35$ tot 0,40 het verhoudingsgetal ongeveer 3. Bij dichtere pakkingen kan eveneens een groter getal worden aangehouden.

De verhouding $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ van de in hoofdstuk 9 voorgestelde standaardsoorteringen fijne breuksteen varieert tussen ongeveer 2 en 3. Bij de lichte sorteringen ligt de genoemde verhouding tussen 1,8 en 1,3 en bij de zware sorteringen tussen 1,3 en 1,1. Bij de bepaling van deze waarden is geen rekening gehouden met eventuele ontmenging of sterke verfijning door breuk van het steenmateriaal.

Bij de opbouw van golfbrekers wordt in (22) voorgeschreven, dat de laagopbouw moet voldoen aan:

$$\frac{M_{50} \text{ bovenlaag}}{M_{50} \text{ onderlaag}} \leq 10 \text{ à } 20$$

Omgewerkt naar diameters wordt deze eis

$$\frac{D_{50} \text{ bovenlaag}}{D_{50} \text{ onderlaag}} \leq 2,2 \text{ à } 2,7$$

Hierbij is de grootte van het verhoudingsgetal afhankelijk van de ligging van de lagen in de constructie. Het kleinste verhoudingsgetal hoort bij de sterkst aangevallen plaats.

In recent onderzoek bij het Waterloopkundig Laboratorium (21) werd voor fijnkorreliger materialen (zand), onderworpen aan cyclische verhangen, een grenswaarde gevonden in de vorm van :

$$\frac{\epsilon \cdot D_{50} \text{ bovenlaag}}{D_{50} \text{ onderlaag}} \leq 1$$

In deze laatste uitdrukking komt ook het belang van de pakkingsdichtheid naar voren.

Bovenstaande voorbeelden geven aan, dat bij grote cyclische verhangen uitgegaan dient te worden van de voorwaarden voor geometrische stabiliteit voor het ontwerp van stabiele filters.

Bij minder extreme stromingsomstandigheden kunnen afhankelijk van de grootte, de richting en de aard van de stroming belangrijk grotere verhoudingen tussen de diameters van de steenstukken van de onder- en bovenlaag worden toegelaten (literatuur 19 en 20).

Bij de bepaling van de verhouding $\frac{D_{50} \text{ bovenlaag}}{D_{50} \text{ onderlaag}}$ moet rekening gehouden worden met de variatie in de D_{50} , die per sortering voor kan komen. Van de in hoofdstuk 9 gedefinieerde standaardsorteringen is de maximaal mogelijke variatie 50% voor fijne sorteringen en 25 tot 5% van lichte tot zware sorteringen. Hierbij is geen rekening gehouden met mogelijke ontmenging.

Om als filterlaag te kunnen gelden, moet de laagdikte zodanig zijn, dat er een gesloten laag door het filtermateriaal wordt gevormd. Een laagdikte van ongeveer $2x D_{90}$ lijkt hierbij een minimum.

Naast het voldoende dicht zijn van de bovenlaag om de korrels uit de onderlaag tegen te houden, dient de bovenlaag minimaal een gelijke doorlatendheid te hebben als de onderlaag om ongewenste drukopbouw te voorkomen.

De stroming in de breuksteensorteringen is door de grofheid van het materiaal steeds turbulent, ook voor de genoemde fijnste van de fijne sorteringen 30/80 mm. De waterdoorlatendheid is dan evenredig met $D^{1/2}$.

Voor uniforme materialen (zeer smalle sorteringen), wordt aan de waterdoorlatendheidseis in elk geval voldaan bij geometrische stabiliteit.

Bij filterlagen van niet uniforme korrels moet ter bepaling van de waterdoorlatendheid naar de verhouding van de D_{15} van de onder- en bovenlaag gekeken worden, daar deze diameters meer bepalend zijn voor de waterdoorlatendheid dan de D_{50} .

12. De relaties tussen de dichtheid en de benodigde hoeveelheden steen.

De hoeveelheden steen, die nodig zijn bij diverse toepassingen, zijn min of meer afhankelijk van de dichtheid van de steen. De mate waarin dit het geval is hangt af van de functie van de steen, waarvan de volgende behandeld worden:

- ballast;
- vulling;
- filteronderdeel;
- weerstand tegen stroming;
- weerstand tegen golfaanval.

Steeds wordt de dichtheid als enige factor beschouwd waardoor de benodigde hoeveelheid breuksteen wordt beïnvloed. In werkelijkheid wordt deze hoeveelheid ook beïnvloed door diverse andere factoren zoals de vorm van de steenstukken en het verloop van de massa- of korrelverdeling.

Bij de beschouwingen over de invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid steen wordt eveneens geen aandacht besteed aan verliezen, veiligheidsfactoren, invloeden van breuk en dergelijke .

12.1. Breuksteen als ballast.

Als ballast heeft breuksteen de functie een zekere kracht uit te oefenen op het onderliggende materiaal ten gevolge van het gewicht van de breuksteen. Onder water wordt deze kracht verkleind met het gewicht van de door de breuksteen verplaatste hoeveelheid water. Bij verwaarlozing van de wateropneming van de steen (zie hoofdstuk 8) volgt de benodigde hoeveelheid steen Q uit:

$$Q = \frac{G \cdot \rho_k}{g(\rho_k - \rho_w)}$$

In figuur 13 is de benodigde hoeveelheid breuksteen voor ballast aangegeven in afhankelijkheid van de dichtheid van de steen en uitgedrukt in % van de hoeveelheid bij een dichtheid van $2\,500\text{ kg/m}^3$.

Hierbij is $\rho_w = 1\,000\text{ kg/m}^3$ aangehouden.

De laagdikte d van de ballast kan berekend worden uit:

$$d = \frac{Q}{\rho_k} \left(\frac{1}{1 - 0,01 n} \right) = \frac{G}{g(\rho_k - \rho_w) (1 - 0,01 n)}$$

Voor $\rho_w = 1\,000\text{ kg/m}^3$ is eveneens in figuur 13 de afhankelijkheid van de laagdikte van de dichtheid van de steen aangegeven.

12.2. Breuksteen als vulling.

Indien breuksteen als vulmateriaal dient, is een bepaalde laagdikte nodig. De hoeveelheid breuksteen per oppervlakte-eenheid volgt dan uit:

$$Q = d(1 - 0,01 n)\rho_k$$

De benodigde hoeveelheid breuksteen is rechtevenredig met de dichtheid van de steenstukken.

In figuur 14 is de invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid breuksteen getekend.

12.3. Breuksteen in filterlagen.

De korrel- of massaverdeling en de dikte van een filterlaag zijn aan diverse voorwaarden gebonden. De invloed van de dichtheid op de benodigde massa steen is afhankelijk van de maatgevende voorwaarde.

Dit kan een bepaalde D_x -waarde betreffen (D_{15} of D_{85}), die uit de korrelverdeling van de aangrenzende laag (lagen) voortvloeit, of de minimaal vereiste laagdikte.

Indien de korrelverdeling aan bepaalde eisen betreffende D_x -waarden moet voldoen en men ontwerpt een sortering, die rekening houdend met de dichtheid daaraan voldoet, dan is de laagdikte onafhankelijk van de dichtheid. Deze laagdikte volgt dan namelijk uit de voorwaarde, dat $d \geq c_1 \cdot D_{50}$, waarin D_{50} onafhankelijk is van de dichtheid.

Zowel in het geval van een fijne steensortering als een lichte of zware steensortering is de benodigde hoeveelheid breuksteen recht evenredig met de dichtheid (zie 12.2).

Gewoonlijk zal men zich afvragen of een bepaalde sortering of standaard-sortering, onafhankelijk van de dichtheid, voldoet aan de D_x -voorwaarden. Indien dit het geval is volgt de laagdikte uit $d \geq c_1 \cdot D_{50}$, waarin D_{50} in het geval van een lichte of zware steensortering afhankelijk is van de dichtheid. Voor een fijne steensortering geldt dit laatste niet. De benodigde hoeveelheid fijne breuksteen is recht evenredig met de dichtheid. Voor lichte en zware steensorteringen is in figuur 15 de invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid steen weergegeven (Appendix, 3).

Indien men een bepaalde laagdikte gekozen heeft op basis van een minimaal vereiste dichtheid, dan leidt een hogere dichtheid tot een evenredig hiermee toenemende benodigde hoeveelheid breuksteen.

Indien men een bepaalde hoeveelheid breuksteen per eenheid van oppervlak gekozen heeft op grond van een maximaal toelaatbare of verwachte dichtheid, dan is bij een geringere dichtheid een grotere hoeveelheid steen aanwezig dan ontwerp kundig nodig zou zijn. Deze "overmaat" kan eveneens uit figuur 15 afgeleid worden.

Bij gebruikmaking van standaard sorteringen kan in sommige gevallen extra voordeel bereikt worden door zodanige eisen aan de dichtheid te stellen, dat daardoor een lichtere sortering in een laag toegepast kan worden of zelfs een filterlaag bespaard kan worden.

12.4. Breuksteen als bescherming tegen stroming.

In hoofdstuk 8 is de volgende formule genoemd:

$$D = \frac{b}{\Delta} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}}} \quad (\text{zie ook hoofdstuk 11.3})$$

De faktor b is onder andere afhankelijk van relatie tussen de waterdiepte en de waarde D . De invloed hiervan op de benodigde hoeveelheid steen is in het algemeen gering en bedraagt maximaal enkele procenten.

De laagdikte volgt uit: $d \geq c_1 \cdot D_{50}$.

Als grenswaarde geldt: $d = 0,94 c_1 \cdot D$

De minimaal benodigde hoeveelheid breuksteen volgt uit:

$$Q = d \cdot \rho_k (1 - 0,01 n).$$

De in figuur 13 weergegeven invloed van de dichtheid geldt ook voor de toepassing van breuksteen als bescherming tegen stroming.

Bij de toepassing van een standaardsortering, een bepaalde laagdikte of hoeveelheid breuksteen per eenheid van oppervlak, geldt hetzelfde als in 12.3 is opgemerkt.

Er kan een aanzienlijke winst bereikt worden indien door de keuze voor een hogere dichtheid met een lichtere sortering kan worden volstaan.

Het voor levering in aanmerking komende aantal groeven wordt echter door het laatste verkleind.

12.5. Breuksteen als bescherming tegen golfaanvallen.

Als ontwerpformule geldt (blz. 36):

$$M_{50} = \frac{\rho_k \cdot H^3}{K \cdot \Delta^3 \cdot \cot \alpha} \quad (\text{zie ook hoofdstuk 11.4})$$

De laagdikte volgt uit $d \geq c_1 \cdot D_{50}$

Als grenswaarde geldt: $d = c_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_k}}$

De benodigde hoeveelheid breuksteen is

$$Q = d \cdot \rho_k (1 - 0,01 n).$$

De invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid steen is hetzelfde als bij toepassing van steen als bescherming tegen stroming.

Dit geldt ook voor hetgeen in 12.4 over standaardsoorteringen is opgemerkt.

13. Kwaliteitscontrole van breuksteen.

De Nederlandse waterbouw werd tot voor kort vooral gekenmerkt door een lange traditie en ervaring met betrekking tot waterbouwkundige werken en het gedrag van de toegepaste materialen. Op grond van uit de ervaring verkregen kennis werden constructies ontworpen en materialen omschreven en toegepast. Het leren door ervaring was hierbij traditioneel gebruikelijk. Dit hield mede in, dat zodra een bepaald materiaal niet voldeed een ander materiaal geprobeerd werd.

De recente en huidige waterbouw onderscheidt zich van de traditionele waterbouw door ontwerpen op grond van modelonderzoek en rekenmodellen, door nieuwe constructies en bouwwijzen en door veel nieuwe materialen. De vereiste eigenschappen van bouwmaterialen, die volgen uit rekenmodellen en modelonderzoek, moeten bij de uitvoering verzekerd zijn. De hieruit volgende kwaliteitszorg houdt het hanteren in van realistische eisen en keuringsmethoden, en zonodig genormaliseerde standaardsorteringen.

Slechts mede door een goede kwaliteitszorg kan een constructie optimaal uitgevoerd worden. Op deze wijze leidt dit tevens tot een vermindering van onderhoud tot een na te streven verantwoord niveau.

Een landelijke en eenduidige kwaliteitszorg kan tevens een einde maken aan de veelal bestaande willekeur met betrekking tot goed- of afkeuren van een aangevoerde hoeveelheid materiaal.

In NEN-2646 ("Kwaliteitsborging") wordt de volgende definitie van kwaliteit gegeven:

"De mate waarin het geheel van de eigenschappen van een produkt, proces of dienst voldoet aan de eraan gestelde eisen, welke voortvloeien uit het gebruiksdoel".

Uit deze definitie volgt, dat kwaliteit geen absoluut begrip is, maar gerelateerd is aan het gebruiksdoel oftewel aan de functionele eisen, die voor een bepaalde toepassing gelden. Een partijmateriaal, die voor een bepaald doel niet geschikt en dientengevolge afgekeurd is kan voor toepassing in een andere constructie wel geschikt zijn.

Om optimaal te kunnen ontwerpen en haalbare eisen te kunnen stellen, is kennis van de relevante eigenschappen van materialen voor de waterbouw een absolute voorwaarde. Het komt helaas veel voor, dat ontwerpers van niet lever- of produceerbare materialen uitgaan! Dit komt door onvoldoende kennis over materialen

of een verkeerde voorstelling over eigenschappen veroorzaakt door bijvoorbeeld veelal misleidende handels-aanduidingen.

Eigenschappen van materialen dienen volgens goed omschreven regels of algemeen bekende normen bepaald te worden, zodat daar geen misverstand over kan bestaan. Kennis over eigenschappen van materialen kan bestaan als ervarings-kennis bij gebruikers en producenten. Deze kennis voldoet in het algemeen niet aan de genoemde voorwaarde.

Door de Afdeling Waterbouwmaterialen van de Wegbouwkundige Dienst wordt in het bijzonder kennis verzameld over eigenschappen en beschikbaarheid van bouwmaterialen voor de waterbouw. Dit wordt op allerhande manieren gedaan: algemeen verkennend onderzoek, onderzoek bij producenten, onderzoeken voor bepaalde toepassingen, uitvoering van keuringen, verzameling van elders bestaande kennis, etc.

Als kennisbron gelden ook bestaande normen dienaangaande. Helaas zijn de bestaande normen met betrekking tot breuksteen vaak onvoldoende of min of meer onjuist.

Tenslotte kan kennis verkregen worden door vóóronderzoeken voorafgaande aan het definitieve ontwerp of de gunning van een werk.

Als absolute voorwaarde voor een goede kwaliteitszorg geldt, dat in bestekken en overeenkomsten de aan de bouwmaterialen te stellen eisen, de keuringsprocedures en -methoden en de maatregelen, die bij het niet voldoen aan de eisen zullen gelden, exact en niet voor tweeërlei uitleg vatbaar zijn vastgelegd.

Bij het opstellen van eisen en keuringsbepalingen moet er ook op gelet worden, dat de minimale ontwerp-kundig maatgevende hoeveelheid materiaal en de hoeveelheid, die bij een keuring beoordeeld wordt van elkaar kunnen verschillen. Veelal wordt bij keuring een volledige scheepslading beoordeeld en gelden de eisen daar ook voor. Door ontmenging en door variatie in de kwaliteit van het produkt kan een deel of zeer klein deel van de lading zodanige eigenschappen hebben, dat functioneel niet meer aan de eisen voldaan wordt. Dit kan bijvoorbeeld ondervangen worden door voor een scheepslading scherpere eisen te laten gelden dan voor de kleinere functioneel maatgevende hoeveelheid materiaal. Anderzijds kan hiermee ook in het ontwerp rekening gehouden worden door bijvoorbeeld bij een filter-constructie een extra laag op te nemen.

Bij het formuleren van besteks-bepalingen is het goed te overwegen, dat het opnemen van normaal geldende eisen en keuringsbepalingen een konstant kwaliteits-niveau bevordert.

Als voorwaarde voor kwaliteitszorg geldt tevens, dat de inspanningen opwegen tegen de te verkrijgen voordelen. Het met elkaar vergelijken van kosten en voordelen moet worden nagestreefd, maar is veelal slechts zeer beperkt en globaal mogelijk. In z'n algemeenheid kan gesteld worden, dat het rendement van kwaliteitszorg in de waterbouw momenteel wel hoog moet liggen, omdat in vergelijking met veel andere processen en produkten nog zo weinig op dit gebied ontwikkeld is. In bepaalde gevallen is kwaliteitszorg een absolute noodzaak om het voldoen aan scherpe functionele eisen te waarborgen. In dat geval zal men meer kosten willen besteden aan keuring dan in minder kritieke omstandigheden. In het algemeen wordt voor breukstaan het besteden van enkele procenten van de materiaalkosten aan keuring, redelijk geacht.

Het is aan te bevelen, dat per directie of dienst enkele medewerkers in het bijzonder belast worden met verkrijgen van kennis van bouwmaterialen, eisen, keuring en besteksbepalingen dienaangaande, zodat in eerste instantie binnen de dienst geadviseerd kan worden, keuringen door de eigen dienst uitgevoerd kunnen worden en het contact met specialistische diensten gekanaliseerd wordt. Deze werkwijze maakt ook het ontwikkelen van richtlijnen, eisen en proefbeschrijvingen noodzakelijk.

13.1. Systemen voor kwaliteitscontrole.

Voor de kwaliteitscontrole van breuksteen kunnen diverse systemen gelden. Het meest voor de hand liggend en klassiek is de keuring van een aangevoerde lading. Dit is bijna altijd een scheepslading. Het kan echter ook grote voordelen hebben en zelfs nodig zijn, keuring bij de producent te doen plaatsvinden. Een combinatie van beide systemen is voor grote steenleveringen wellicht het meest te verkiezen. In dit hoofdstuk wordt tevens een korte beschouwing gewijd aan de mogelijkheid om breuksteen onder een garantiemerk te doen leveren.

13.1.1. Keuren van aangevoerde ladingen.

Het beperken van de kwaliteitscontrole tot keuren na aanvoer heeft de volgende voor- en nadelen.

Voordelen

- Het te keuren materiaal heeft een kwaliteit, die vóór het aangebracht zijn in het werk alleen nog nadelig beïnvloed kan worden door transport en overslag op het werk. Deze eventuele invloed kan men ook onder controle stellen, door bijvoorbeeld de valhoogte van steen bij het lossen aan een grens te binden.

- Door keuren na aanvoer wordt het inzicht en de motivatie van de bij de werkuitvoering betrokken mensen betreffende de kwaliteit van het aangevoerde materiaal bevorderd.
- Bij beperken van de kwaliteitscontrole tot keuren na aanvoer kan een systeem toegepast worden waarin alle of een deel van de scheepsladingen op kwaliteit worden onderzocht en alle ladingen visueel beoordeeld worden.
- Weinig reiskosten.
- De uitvoering van de keuring kan betrekkelijk eenvoudig opgenomen worden in het werkpakket van de bij de werkuitvoering betrokken mensen onder begeleiding van een centrale kwaliteitsdienst, die de directie hierin assisteert of van de directie zelf.

Nadelen

- Vóór het lossen van de lading is een aselechte bemonstering niet mogelijk, omdat de bemonstering tot het oppervlak van de lading beperkt moet blijven. Tijdens het lossen is een aselechte bemonstering goed mogelijk. Indien het materiaal dan echter niet aan de eisen blijkt te voldoen, drukken de kosten van lossen en weer laden op de afgekeurde en af te voeren lading. Dit is niet het geval indien bij het niet volledig voldoen aan de eisen een korting op de prijs wordt toegepast (zie 13.2.2 lid 33).
- Indien de lading inhomogeen is, hetgeen juist bij scheepsladingen vooral voor kan komen, is een uitgebreidere bemonstering nodig dan bij homogeen materiaal, om eenzelfde betrouwbaar keuringsresultaat te verkrijgen.
- Bemonstering en onderzoek vergen tijd, hetgeen tot verlenging van de wacht- of lostijd van het schip leidt of kan leiden.
- Keuring op bepaalde eigenschappen kan zoveel tijd vergen, dat de lading vóór het bekend zijn van de keuringsuitslag reeds gelost of zelfs al verwerkt is, zoals in de praktijk gebleken is.
- Terugkoppeling van de keuringsresultaten naar de produktie gebeurt traag, onvolledig of helemaal niet. Indien de eerste aangevoerde lading bij keuring niet aan de eisen blijkt te voldoen, bestaat de mogelijkheid, dat de volgende reeds beladen schepen ook materiaal bevatten, dat niet aan de eisen voldoet.

13.1.2. Keuren bij de producent.

Voor keuring bij de producent gelden andere voor- en nadelen dan voor keuringen na aanvoer.

Bij de producent is doorgaans een aselechte representatieve bemonstering goed uitvoerbaar. Na de keuring volgt echter nog transport en overslag, waarbij de eigenschappen nog aanzienlijk veranderen kunnen door bijvoorbeeld breuk, vervuiling, opneming van ondergrond uit depots en vermenging met andere materialen of sorteringen.

Tot nu is gebleken, dat een directe terugkoppeling van de keuringsresultaten naar de produktie zeer nuttig kan werken en ook noodzakelijk is. Uit ervaring is namelijk bekend, dat bedrijfscontrole (controle door de producent) slechts summier of in het geheel niet wordt uitgevoerd. Er bestaan ook grote verschillen in interpretatie van eisen betreffende de korrel- of massa-verdeling. Indien voor een korrelverdeling eisen zijn gesteld aan de grootte van de zeeffracties, dan denkt de producent hierbij ten onrechte veelal aan ruw werkende produktiezeven, waarvan de gatafmetingen door slijtage en maatafwijkingen aanzienlijk kunnen variëren en waarbij de invloed van de vorm van de zeefgaten op het zeefresultaat onvoldoende wordt beseft.

De misverstanden tussen de producent en de gebruiker van breuksteen betreffende de kwaliteit zijn vooral verklaarbaar indien, zoals nu nog veel het geval is, geen exacte eisen gesteld worden, noch regels gegeven worden voor de keuring van het materiaal. Door dit wel te doen en door zoveel mogelijk met standaardsorteringen te werken zal het merendeel van de misverstanden verdwijnen.

Keuring bij de producent kan het beste gebeuren binnen een systeem van bedrijfscontrole en controle daarop door de afnemer.

13.1.3. Een combinatie van keuren bij produktie en keuren na aanvoer.

Veelal kan het beste een combinatie van keuren bij produktie en keuren na aanvoer toegepast worden. Dit geldt vooral voor grotere partijen.

Wanneer geen of onvoldoende zekerheid bestaat of de producent, die voor levering in aanmerking wil komen aan de eisen kan voldoen, die voor het verlangde materiaal gelden, kan met een vooronderzoek vóór verstrekking van de opdracht hierover zekerheid verkregen worden. Het gunnen van het werk aan de aannemer of de verstrekking van de opdracht door de directie aan de producent, kan dan afhankelijk gesteld worden van een positief resultaat van het vooronderzoek.

Bij levering kan men dan scheepsladingen na aanvoer keuren. Dit kan men beperken tot bijvoorbeeld 10% van de scheepsladingen en de ladingen, die visueel beoordeeld twijfelachtig van kwaliteit zijn. De overige ladingen kan men door visuele beoordeling controleren op grofheid, verontreinigingen etc. Door het keuren van een lading door objectieve metingen en vergelijking van het resultaat met het subjectieve oordeel op grond van visuele inspectie, kan men de betrouwbaarheid van de visuele beoordeling opvoeren. Zonder de voornoemde vergelijking en herhaling daarvan is een visuele beoordeling zeer onbetrouwbaar. Visuele beoordeling kan echter nooit een keuring vervangen, maar kan er hooguit een deel van uitmaken.

Voor partijen, die over een langere tijd dan enkele maanden geproduceerd worden is het opleggen van een bedrijfscontrole en een periodieke controle daarop door of namens de afnemer een goede methode om de gewenste kwaliteit te waarborgen. Hierbij behoort ook een controle op depots en overslag voor zover hierdoor de kwaliteit na keuring nog beïnvloed wordt.

Indien deze invloeden groot lijken te zijn kan men ter controle van keuring door bemonstering uit de lopende produktie een keuring uitvoeren door bemonstering bij belading van een schip.

In elk geval is het ondanks de genoemde keuring bij de producent, noodzakelijk de scheepsladingen na aanvoer visueel te beoordelen en bij twijfel over de kwaliteit tot keuring over te gaan.

4. Levering onder een garantiemerk.

Levering onder een garantiemerk dient een bedrijfscontrole te omvatten en controle daarop door het garantiemerk verstreckende instituut.

De controle betreft niet alleen het gerede produkt, maar ook alle fasen van de produktie en onderdelen van het produktie-apparaat voor zover daardoor de eigenschappen van het produkt beïnvloed kunnen worden. Voorafgaande aan het verstrekken van een garantiemerk wordt een toelatingsonderzoek verricht en wordt het volledige keuringsstelsel tot in details opgezet. Bij levering onder bijvoorbeeld het KOMO-garantiemerk wordt dit stelsel niet gericht op een bepaalde partij voor één afnemer, maar staat permanent de produktie van het betreffende materiaal of artikel onder controle.

Voor de levering van grote hoeveelheden breuksteen voor de bouw van de Stormvloedkering Oosterschelde werd het aanvragen van een bijzonder KOMO-garantiemerk verplicht gesteld. Het "bijzondere" betrof het feit, dat slechts aan één afnemer werd geleverd.

Op grond van ervaringen met het invoeren van dit "bijzondere" garantiemerk wordt levering onder een garantiemerk voor breuksteen nog niet goed mogelijk geacht. Hiervoor kunnen de volgende redenen genoemd worden:

- De produktie van sorteringen breuksteen wordt kwalitatief te veel beïnvloed door ongewisse en variabele factoren. Dit geldt niet alleen voor de visueel geselecteerde sorteringen.
- De sorteringen breuksteen worden nog niet als standaardsorteringen geproduceerd en er is ook geen sprake van een continue afname daarvan door de Nederlandse gebruikers.

3.1.5. Uitvoering van de kwaliteitscontrole.

De keuring van aangevoerde materialen valt onder de verantwoordelijkheid van de directie van het betreffende werk. Zij kan zich hierin laten bijstaan door kwaliteitsspecialisten van de eigen dienst. Men kan de aannemer werknemers ter beschikking laten stellen voor de bemonstering en hulp bij uitvoering van de proeven. De directie kan zich laten adviseren door een specialistische dienst, zoals de Wegbouwkundige Dienst. De WBD kan door haar landelijke adviseringstaak uniformiteit in de uitvoering van de keuring bevorderen voor zover dat nodig is. Deze dienst kan tevens zorgdragen voor het uitvoeren van onderzoek, dat op het werk niet of lastig uitvoerbaar is. Dit geldt bijvoorbeeld voor controle op de sterkte van het steenmateriaal.

Bij afkeuring kan een herkeuring uitgevoerd worden door een onafhankelijke keuringsinstantie (A.V. § 18 leden 11 en 12).

Keuring door de directie bij de producent kan tot een niet toe te laten verschuiving van verantwoordelijkheden betreffende de kwaliteit leiden.

In eerste instantie is de producent verantwoordelijk voor de kwaliteit.

Vervolgens betreft deze verantwoordelijkheid de leverancier en/of aannemer.

De directie kent formeel in deze slechts één partij, namelijk de contractpartner.

De producent hoort controle op het productieproces en de kwaliteit van de producten uit te oefenen. Deze bedrijfscontrole kan in een contract voorgescreven worden.

Bij aankoop van breuksteen door de aannemer ligt het voor de hand, dat de aannemer een in de groeve voorgescreven kwaliteitscontrole, anders dan bedrijfs-

controle uitvoert. Op de juiste uitvoering hiervan zou de directie toe kunnen zien. In de huidige situatie lijkt een dergelijke controle door de aannemer niet goed haalbaar, omdat bij de aannemer dienaangaande geen ervaring aanwezig is. Daarom kan deze controle voorlopig beter door de directie uitgevoerd worden, die zich door de WBD kan laten adviseren. De directie kan desgewenst de kwaliteitscontrole in de groeve opdragen aan een deskundige keuringsdienst, die namens de directie optreedt.

De genoemde controle door de directie of door een namens haar optredende keuringsdienst ligt nog meer voor de hand, wanneer de breuksteen door de directie gekocht en aan de aannemer beschikbaar gesteld wordt.

Te streven is naar een situatie, waarin vooronderzoek bij de producent, bedrijfscontrole door de producent (met steekproefsgewijze controle daarop door de afnemer), en afnamecontrole door de afnemer als elementen een plaats hebben.

13.2. Besteksbepalingen.

In dit hoofdstuk worden besteksbepalingen betreffende de eisen en de keuring van breuksteen gegeven. Onder keuring wordt het onderzoek naar eigenschappen verstaan en het toetsen aan de eisen. Het onderzoek kan als volgt onderscheiden worden naar aard, plaats van uitvoering en naar uitvoerder:

- a. Keuring van breuksteen na aanvoer
- b. Keuring van breuksteen als vooronderzoek in de steengroeve
- c. Keuring van breuksteen in de groeve door de directie
- d. Keuring van breuksteen door de producent.

De kwaliteitscontrole voor een partij breuksteen kan de volgende keuringen omvatten:

- I : a;
II : a en b;
III: b, c en zonodig a;
IV : b, c, d en zonodig a.

Bij een kleine partij breuksteen kan de keuring tot onderzoek na aanvoer beperkt blijven, indien op grond van beschikbare informatie verwacht mag worden dat het materiaal aan de eisen zal voldoen. Indien het materiaal in élk geval aan de eisen moet voldoen, is keuring vóór het lossen noodzakelijk, hetgeen enige tijd vergt. Bemonstering en keuring tijdens of na het lossen is verantwoord, wanneer het materiaal ook bij enige afwijking van de eisen bruikbaar is ondanks het niet optimaal beantwoorden aan functionele eisen. Indien de schade door het niet volledig aan de eisen voldoen te schatten is, kan deze in principe via een kortingsregeling verrekend worden. (Deze korting kan tevens als stimulering dienen om (weer) aan de eisen te voldoen). Een sterke afwijking van de eisen kan, wat de sortering betreft, door een visuele inspectie vóór het lossen beoordeeld worden. Bij twijfel aan de kwaliteit kan alsnog tot keuring vóór het lossen besloten worden.

Door een vooronderzoek in de groeven wordt zekerheid verkregen of de producent in staat is om het gewenste materiaal te produceren. Dit vooronderzoek zal veelal ook tot aanpassing en optimalisering van het produktieproces leiden. Met dit vooronderzoek wordt, zoals praktijkervaring geleerd heeft bepaald geen zekerheid verkregen, dat het aangevoerde materiaal aan de eisen zal voldoen. Keuring tijdens de levering blijft ook dan noodzakelijk.

Volgens de in dit rapport voorgestelde besteksbepalingen wordt het vooronderzoek nog door de opdrachtgever uitgevoerd.

Er dient naar gestreefd te worden, dat dit onderzoek in de toekomst door de producent uitgevoerd wordt, nadat hiervoor de vereiste ervaring verkregen is, die nu nog onvoldoende bestaat.

Door de periodieke keuring bij de producent door de directie of door een namens haar optredende keuringsinstantie wordt een grote mate van waarschijnlijkheid verkregen, dat het aangevoerde materiaal aan de eisen zal voldoen. Bij opslag in depot, bij overslag en tussen de periodieke keuringen kan er echter nog wel iets mis gaan, zodat visuele inspectie van de ladingen na aanvoer nodig is en bij twijfel aan de kwaliteit keuring. Bij de keuringen in de groeve is het aan te bevelen de op- en overslag van de te leveren breuksteen ook te inspecteren.

Deze keuring kost veel inspanning, indien de produktie voor de betreffende levering verdeeld over kleine hoeveelheden in veel groeven plaatsvindt. Naarmate de korrel- of massaverdeling van de steensortering meer afhankelijk is van de directe menselijke invloed in plaats van een gemechaniseerd proces, wordt een mindere mate van zekerheid verkregen over de kwaliteit van het aangevoerde materiaal. Zo ligt de kwaliteit van een uit grof basismateriaal met een breek-zeefinstallatie geproduceerde 10-60 kg veel meer vast, dan bij produktie met een rooster.

De producent dient in principe bedrijfscontrole uit te voeren. Dit heeft als extra voordeel, dat de producent directer met het kwaliteitsaspect geconfronteerd wordt, wat de kans op een goed produkt vergroot. Bovendien kan hierdoor de keuringsinspanning van de directie verlaagd worden, omdat die keuring als controle functioneert op de bedrijfscontrole.

Als voorwaarde voor het opleggen van keuring door de producent geldt, dat verwacht mag worden dat de producent in staat is een betrouwbare bedrijfscontrole uit te oefenen. Hierbij moet bedacht worden, dat de producenten voor wat betreft de breuksteen voor de waterbouw veelal geen of weinig ervaring hebben met een dergelijke controle.

Bij zeer grote partijen breuksteen, die over lange perioden geleverd worden kan een uitgebreid systeem van kwaliteitscontrole gelden, dat afgestemd is op de voor de desbetreffende levering geldende specifieke voorwaarden. Dit systeem omvat in principe alle onder a t/m d genoemde keuringen. Op de kwaliteitscontrole van deze grote partijen wordt in dit rapport niet verder ingegaan.

De kwaliteit van breuksteen in een uitgevoerde constructie is niet alleen afhankelijk van kwaliteitseisen en keuring, maar ook van de wijze, waarop de aangevoerde steen verwerkt wordt. Het kan daarom noodzakelijk zijn in verband daarmee ook besteksbepalingen op te nemen. Deze bepalingen kunnen bijvoorbeeld gericht zijn op het voorkomen van vervuiling of beperken van breuk. Wat dit laatste betreft zou een bepaling geformuleerd kunnen worden

ter beperking van de valhoogte waarbij ook de aanvangssnelheid bij het begin van de val in aanmerking genomen wordt.

De hierna genoemde besteksbepalingen betreffen de eisen, waaraan het materiaal moet voldoen en vervolgens bepalingen voor de kwaliteitscontrole.

Deze laatste bepalingen worden in volgorde gegeven van de eerder onderscheiden keuringen a t/m d (13.2.2. tot en met 13.2.5.). Voor een bepaalde keuring worden de te verrichten keuringen en geldende bepalingen gekozen op functionele en beleidsmatige gronden (13.2.6.).

Bij de nummering van de besteksbepalingen is een f toegevoegd aan het nummer, wanneer de desbetreffende bepaling alleen voor een fijne sortering breuksteen geldig is. Er is een z toegevoegd bij een slechts voor lichte of zware sorteringen breuksteen op te nemen bepaling.

13.2.1. Keuringseisen breuksteen .

1. De breuksteen moet afkomstig zijn uit groeven, die de schriftelijke goedkeuring van de directie behoeven. De schriftelijke goedkeuring zal de naam van de producent vermelden, de aanduiding van de sortering, de groeve waarin de sortering geproduceerd zal worden en het bestek waarvoor de goedkeuring geldig is.

In dit lid moet de aanduiding van de sortering opgenomen worden, zoals "10-60 kg" of "50/150 mm".

2. De breuksteen mag geen verontreinigingen bevatten.

3. De steenstukken mogen niet bedekt zijn met aangehechte leem of klei.

Deze bepaling is bedoeld voor breuksteen voor een te penetreren laag.

4. Basalt moet vrij zijn van zonnebrand.

5. De breuksteen moet bestand zijn tegen vorst- en dooiwisselingen.

Deze eis geldt wanneer de breuksteen in het werk, in een depot of bij te voorzien hergebruik aan vorst- en dooiwisselingen onderhevig is.

6z. De steenstukken moeten vrij zijn van schadelijke scheuren en schadelijke aderen van zodanige aard, dat naar verwachting breuk zal optreden bij het laden, lossen of verwerken van de breuksteen.

Deze eis hoeft niet voor fijne sorteringen breuksteen opgenomen te worden, omdat schadelijke scheuren en aderen bij het breek-zeefproces reeds tot breuk geleid hebben en omdat selectie op schadelijke scheuren en

aderen daarbij produktie-technisch niet mogelijk is, behalve eventueel door selectie van het te springen of gesprongen gesteente. De breukgevoeligheid van fijne breuksteen correleert goed met de dynamische verbrijzelingswaarde (zie lid 8).

7. Het gehalte aan steenstukken met een kleinere verhouding tussen dikte en lengte dan $1/3$ mag ten hoogste%(m/ π) zijn.

De in te vullen waarde zal gewoonlijk 25 zijn, hetgeen met de norm in de Bondsrepubliek Duitsland overeenkomt (zie ook hoofdstuk 7).

8. De dynamische verbrijzelingswaarde mag ten hoogste % zijn.

Over de in te vullen waarden zijn in hoofdstuk 5 mogelijkheden en consequenties beschreven. Een waarde van 40 of meer, geldt voor zeer zwakke, zelden aangeboden gesteenten. Bij een waarde van 30 voldoet de bekende Belgische kalksteen nog juist. Lagere waarden kunnen gelden wanneer dit functioneel of uitvoerings-technisch nodig is. Men verkleint daardoor echter de keuzemogelijkheid van levering.

9. De gemiddelde dichtheid van de breuksteen moet ten minste kg/m^3 zijn.

Als minimale waarde kan, in overeenstemming met de A.V.W. 1968 (11), 2.300 gelden. Bij 2.500 worden bepaalde steensoorten uitgesloten, die overigens slechts zelden worden aangeboden. De keuze dient ontwerpkundig te worden bepaald (zie hoofdstukken 8, 11 en 12).

In plaats van een minimaal toelaatbare gemiddelde dichtheid kan een maximaal toelaatbare waarde voorgeschreven worden. Hiermee kan bijvoorbeeld de benodigde massa breuksteen beperkt worden bij toepassing als vulling. In de tekst van lid 9 wordt "moet ten minste" dan gewijzigd in "mag ten hoogste".

10. De dichtheid van 90% van de steenstukken moet ten minste kg/m^3 zijn.

Deze eis dient om te voorkomen dat een deel van het materiaal een onacceptabel lage dichtheid heeft.

Deze eis moet minimaal 100 kg/m^3 geringer zijn dan de minimaal vereiste gemiddelde dichtheid volgens lid 9. Dit is in de meeste gevallen haalbaar. Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid en de dichtheid die door juist 90% van de steenstukken wordt overschreden is in het algemeen niet groter dan 50 tot 80 kg/m^3 .

11f. De korrelverdeling moet voldoen aan de volgende eisen:

Op zeef	gesommeerd in %(m/m)	
	minimaal	maximaal
φ 180 mm	0	10
φ 90 mm	50	90
NEN 2560 - C 45	90	100

Opmerking: De met φ aangegeven zeven bestaan uit loodrecht op elkaar gelaste stalen staven φ 12 mm, waardoor vierkante gaten gevormd zijn, waarvan de diameter met een tolerantie van ± 0,5 mm overeenkomt met de nominale zeefmaat.

De genoemde eisen gelden als voorbeeld. Voor te stellen eisen zie hoofdstuk 9.3.3.

12z. De massaverdeling moet voldoen aan de volgende eisen:

Zwaarder dan	gesommeerd in %(m/m)	
	minimaal	maximaal
..... kg	0	3
..... kg	0	30
..... kg	90	100
..... kg	98	100

13z. De gemiddelde massa van de steenstukken, exclusief de scherven, moet tussen en kg liggen. Scherven zijn steenstukken, die een geringere massa hebben dan minimaal voor 98%(m/m) vereist is.

De eisen 12 en 13 betreffen zware en lichte sorteringen.

De in te vullen waarden zijn in hoofdstukken 9.3.1. en 9.3.2. genoemd.

13.2.2. Keuring na aanvoer.

In de keuringsbepalingen wordt de aanwezigheid van de aannemer als kontraktant verondersteld. Bij een leveringsovereenkomst is dit in plaats van de aannemer een leverancier of een producent. In dergelijke gevallen dient in plaats van de aannemer de betreffende kontraktant genoemd te worden.

14. Bij iedere aangevoerde scheepslading dient aan de directie een bewijs van herkomst te worden overlegd, dat door de producent is ondertekend. Dit bewijs moet de naam van de producent vermelden, de aanduiding van de sortering, de groeve waarin de sortering geproduceerd is en de hoeveelheid, waarvoor het bewijs van herkomst geldig is. Indien de levering plaatsvindt door middel van een combinatie van duwbakken, dan wordt de lading van één duwbak als scheepslading beschouwd.

Met het bewijs van herkomst wordt het inzicht bevorderd in de kwaliteit van een sortering van een bepaalde herkomst.

Bovendien dient dit bewijs als controle op de eis volgens lid 1.

15. De aannemer stelt de benodigdheden ter beschikking voor het onderzoek volgens lid

In deze bepaling moet lid 21 of 23 ingevuld worden. Lid 21 geldt voor fijne sorteringen en lid 23 voor lichte en zware sorteringen.

16. De keuring van de aangevoerde breuksteen wordt door of namens de directie uitgevoerd.
17. Van de aangevoerde breuksteen wordt 10% van het aantal scheepsladingen, met een minimum van scheepsladingen, ten minste gekeurd op sorteringseisen en verontreinigingen.
- De bepaling van de te keuren scheepsladingen, gebeurt op aselechte wijze.

Deze bepaling geldt niet wanneer de breuksteen door of namens de directie in de groeve gekeurd wordt.

Het noemen van het aantal te keuren scheepsladingen geeft de aannemer inzicht in de door hem voor de keuringen te verrichten werkzaamheden.

Door het keuren van scheepsladingen wordt een goed visueel beoordelingsvermogen verkregen, zodat ladingen, die niet aan eisen voldoen waarop een visuele beoordeling mogelijk is direct als zodanig herkend worden (zie volgende lid).

Bij een kleine partij breuksteen, die uit weinig scheepsladingen bestaat wordt geen percentage te keuren ladingen genoemd maar alleen een minimaal aantal.

18. De directie heeft de bevoegdheid om elke scheepslading te keuren, waarvan zij veronderstelt, dat mogelijk niet aan de eisen voldaan wordt.

De in deze eis genoemde veronderstelling kan gebaseerd zijn op een visuele beoordeling. Aan een dergelijke beoordeling dient elke scheepslading onderworpen te worden.

19f. Op verzoek en op aanwijzing van of namens de directie neemt de aannemer vóór of tijdens het lossen aselekt ten minste 6 monsters uit de aangevoerde scheepslading/.... mm, die representatief voor de lading moeten zijn. Elk monster dient een massa te hebben van ten minste kg.

De monsters worden door de aannemer naar een plaats vervoerd, waar het materiaal gezeefd kan worden.

Indien verondersteld wordt, dat delen van de lading een van elkaar verschillende kwaliteit hebben, dan wordt elk van deze delen afzonderlijk bemonsterd door het aselekt nemen van ten minste 6 monsters, die representatief voor het betreffende deel moeten zijn.

Bij .../.... worden de nominale grenzen ingevuld van de desbetreffende fijne sortering breuksteen.

Als monstergrootte dient minimaal de volgende hoeveelheid in kg aangehouden te worden:

- 2x de nominale bovengrens van de sortering indien deze groter is dan 100 mm;
- 1x de nominale bovengrens van de sortering indien deze kleiner is dan 100 mm.

Bij aanvoer overzee met grotere ladingen dan met binnenvaartschepen mogelijk is, dient het aantal deelmonsters aangepast te worden afhankelijk van de grootte van de lading.

Zie voor monsterneming ook hoofdstuk 13.3.2.

20z. Op verzoek en op aanwijzing van of namens de directie neemt de aannemer vóór of tijdens het lossen aselekt tenminste 6 deelmonsters uit de aangevoerde scheepslading-.... kg, die representatief voor de lading moeten zijn. De deelmonsters vormen samen één monster, dat tenminste 200 steenstukken moet bevatten, die zwaarder zijn dan scherven.

De aannemer vervoert het monster naar een plaats, waar de steenstukken gewogen kunnen worden.

Indien verondersteld wordt, dat delen van de lading een van elkaar verschillende kwaliteit hebben, dan wordt elk van deze delen afzonderlijk bemonsterd door het aselect nemen van tenminste 6 representatieve deelmonsters.

Bij ...-... worden de nominale grenzen ingevuld van de desbetreffende lichte of zware sortering breuksteen.

Bij aanvoer overzee met grotere ladingen dan met binnenvaartschepen mogelijk is, dient het aantal deelmonsters aangepast te worden afhankelijk van de grootte van de lading.

Bij zwaardere steensorteringen dan 1.000 - 3.000 kg kan de lading uit minder dan 200 steenstukken (exclusief scherven) bestaan. In dat geval wordt na "..... dan scherven" toegevoegd: "Indien de scheepscheepslading minder dan 200 steenstukken bevat wordt de hele lading als monster beschouwd".

Bij lossing ontstaat op de scheepsbodem veelal een schervenrijke laag materiaal. Indien dit veel is kan dit materiaal apart bemonsterd en onderzocht worden. De totale hoeveelheid kan door opneming van het last- en leegvlot van het schip bepaald worden. Deze onderzoeksgegevens kunnen in rekening gebracht worden bij de bepaling van de gemiddelde kwaliteit van de lading.

Zie voor monsterneming ook hoofdstuk 13.3.2.

Indien het gehalte scherven meer dan 2%(m/m) bedraagt, kan het deel, dat de 2%(m/m) overschrijdt onverrekenbaar gesteld worden.

- 21f. De korrelverdeling van de monsters worde bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 5.
- 22f. De gemiddelde korrelverdeling van de monsters wordt berekend als het rekenkundig gemiddelde van de gesommeerde zeefresten per monster.
- 23z. De massaverdeling en de gemiddelde massa van de steenstukken van het monster worden bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 6.
24. Door visuele beoordeling wordt nagegaan of steenstukken bedekt zijn met aangehechte leem of klei.

Deze bepaling is bedoeld voor breuksteen voor een te penetreren laag.

De mate van toegestane en aanwezige bedekking met aangehechte leem of klei kan niet in objectieve maten vastgelegd worden.

Het is daarom aan te bevelen, dat vóór aanvang van de levering de directie en de leverancier hieroverovereenstemming verkrijgen.

25. De aanwezigheid van zonnebrand in basalt wordt van 40 aselekt genomen steenstukken, die representatief zijn voor de partij onderzocht volgens DIN 52106, uitgave november 1972.

(zie literatuur 14).

Bij een aanwezigheid van 10% steenstukken in de partij met zonnebrand bestaat bij onderzoek van 40 steenstukken een kans van 2%, dat in het onderzochte monster geen steenstuk met zonnebrand voorkomt.

26. De bestandheid tegen vorst- en dooiwisselingen wordt van 10 aselekt genomen steenstukken onderzocht volgens de Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine, uitgave 1976.

(zie literatuur 4).

27z. De aanwezigheid van schadelijke scheuren en schadelijke aderen wordt nagegaan door visuele beoordeling.

De maten van toegestane en aanwezige schadelijke scheuren en schadelijke aderen kunnen niet in objectieve maten vastgelegd worden. Het is daarom aan te bevelen, dat vóór aanvang van de levering de directie en de leverancier hierover overeenstemming verkrijgen.

28. Het gehalte aan steenstukken met een kleinere verhouding tussen dikte en lengte dan 1/3 wordt bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 7.

29. De dynamische verbrijzelingswaarde wordt bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 8.

30. De dichtheid van..... aselekt genomen steenstukken of delen daarvan van ten minste 500 g wordt bepaald volgens proef (67), methode 2 van de "Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw".

Van de gemeten dichtheden wordt het rekenkundig gemiddelde bepaald.

Voor het in te vullen aantal wordt 40 genomen indien de eisen volgens leden 9 en 10 gelden. Er wordt 10 ingevuld indien de eis volgens lid 10 niet geldt.

31. De resultaten van het onderzoek volgens leden tot en met moeten voldoen aan de keuringseisen volgens leden tot en met

31. De resultaten van het onderzoek volgens leden tot en met moeten voldoen aan de keuringseisen volgens leden tot en met
32. Indien de scheepslading of een deel daarvan niet aan de keuringseisen voldoet, mag de scheepslading of het betreffende deel niet worden geleverd.

Indien de maatregelen, die bij het niet voldoen aan de keuringseisen beperkt blijven tot het hier gestelde, dan is het aan te bevelen de keuring op de eisen betreffende de massa- of korrelverdeling voorafgaande aan het lossen te doen plaatsvinden. Dit geldt zeker indien op grond van visuele beoordeling min of meer twijfel bestaat of aan de betreffende eisen voldaan zal worden.

Mocht tijdens het lossen een deel van de lading toch niet lijken te voldoen, dan kan het betreffende deel nog eens apart gekeurd worden.

Het keuren op een aantal eigenschappen van de breuksteen, zoals de dichtheid, de sterkte en de bestandheid tegen vorst en dooi duurt zo lang, dat de keuringsuitslag niet afgewacht kan worden vóór aanvang van het lossen. Dit pleit daarom extra voor een vooronderzoek in de groeve, tenzij voldoende en betrouwbare informatie over de betreffende breuksteen bekend is. Bovendien kost het doorgaans veel geld materiaal, dat niet aan de eisen voldoet, uit het werk te verwijderen en af te voeren.

Door het hanteren van kortingen op de prijs voor breuksteen die in een beperkte mate van de vereiste kwaliteit afwijkt (overigens een minder gewenste situatie), kan men het economisch verlies en het gevaar van een onvoldoende of niet-continue aanvoer tengevolge van het niet accepteren van een ongeschikte lading beperken. Deze kortingen kunnen gelden bij het niet voldoen aan de eisen betreffende de dichtheid, de korrel- of de massaverdeling.

Hierna worden in lid 33 enkele voorbeelden gegeven van kortingsbepalingen.

33. Indien het keuringsresultaat volgens lid (a) niet voldoet aan de keuringseis volgens lid (b), wordt een korting toegepast van f per ton steenmateriaal van de betreffende scheepslading indien de afwijking tussen (c) en (d) ligt. Een scheepslading wordt niet geaccepteerd indien de afwijking meer is dan (e).

Met betrekking tot de gemiddelde massa van bijvoorbeeld 10-60 kg worden voor (a) en (b), respectievelijk "23" en "13" ingevuld en voor (c) tot en met (e) bijvoorbeeld respectievelijk "0", "3 kg" en "3 kg".

Voor de korrelverdeling van een sortering worden voor (a) en (b) respectievelijk "22" en "11" ingevuld en voor (c) tot en met (e) bijvoorbeeld respectievelijk "0", 10%(m/m)" en 10%(m/m)".

13.2.3. Keuring bij een vooronderzoek.

34. Op een bij het inschrijvingsbiljet te voegen bijlage dient de inschrijver aan te geven van wie en uit welke groeve(n) de voor het werk te leveren breuksteen zal worden betrokken.

35. De inschrijver vermeldt of binnen twee weken na de aanbesteding de breuksteen bij wijze van proefproductie geproduceerd kan worden in een hoeveelheid van tenminste 100 ton.

Deze bepaling wordt opgenomen indien de breuksteen machinaal geproduceerd wordt. Door bemonstering van de proefproductie en bepaling van de korrel- of massaverdeling van de monsters kan onderzocht worden of aan de betreffende eisen kan worden voldaan. Het onderzoek kan overeenkomstig het gestelde in 13.2.4 (Keuring in de groeve door de directie) worden uitgevoerd.

Indien de bereuksteen niet machinaal maar visueel wordt geselecteerd, is uit ervaring bekend of aan de eisen betreffende de massaverdeling kan worden voldaan. Het vooronderzoek dient dan wat dit betreft om na te gaan of, gezien de zwaarte van de sortering, de breuksteen uit de betreffende groeve verkregen kan worden.

36. Indien de in lid 35 genoemde proefproduktie niet mogelijk is, vermeldt de inschrijver uitvoerig op welke wijze de producent de breuksteen wil produceren.
37. Binnen twee weken na de aanbesteding dient de inschrijver desgevraagd de opdrachtgever, of een namens de opdrachtgever optredende keuringsinstantie, in de gelegenheid te stellen in de onder lid 34 bedoelde groeve(n) te controleren of de producent aan de keuringseisen volgens lid 2 tot en met lid kan voldoen met in acht neming van de leden 35 en 36.
38. De inschrijver stelt in de groeve(n) alle voorzieningen beschikbaar, die nodig zijn om monsters te kunnen nemen en verleent de nodige hulp bij het onderzoek in de groeve.

In de groeve kan gecontroleerd worden of aan de keuringseisen volgens leden 6, 7, 11, 12 en 13 voldaan kan worden. Ter controle van het kunnen voldoen aan de keuringseisen volgens leden 4, 5, 8, 9 en 10 kunnen monsters genomen worden voor onderzoek in een laboratorium.

Bij het vooronderzoek wordt niet alleen nagegaan of in principe in de groeve aan de keuringseisen voldaan kan worden, maar wordt ook zoveel mogelijk nagegaan welke factoren de kwaliteit na aanvoer kunnen beïnvloeden. Dit betreft vooral de opslag en overslag van de breuksteen. Zonodig dienen afspraken gemaakt te worden om de gewenste kwaliteit na aanvoer beter te kunnen waarborgen.

39. Aan de hand van de volgens leden 34 tot en met 38 verkregen informatie bepaalt de opdrachtgever of het mogelijk moet worden geacht of in de betreffende groeve(n) breuksteen kan worden geproduceerd, die voldoet aan de volgens leden 2 tot en met gestelde keuringseisen.

13.2.4. Keuring tijdens de produktie door de directie.

40. De aannemer laat in de groeve een schone vloer van tenminste 25 m² beschikbaar stellen voor de uitvoering van de keuring.
41. De aannemer laat in de groeve de benodigheden ter beschikking stellen voor het onderzoek volgens lid

In deze bepaling moet lid 46 of 48 ingevuld worden.

Lid 46 geldt voor fijne sorteringen en lid 48 voor lichte en zware sorteringen.

42. De aannemer laat op verzoek en op aanwijzing van de directie of een namens haar optredende keuringsinstantie, monsters nemen ten behoeve van de kwaliteitscontrole en laat de nodige hulp verlenen bij het keuren.

43. De breuksteen zal in de groeve door de directie of door een namens haar optredende keuringsinstantie tenminste maal en ten hoogste maal gekeurd worden. Indien blijkt dat het materiaal bij een of meer van de keuringen niet aan de eisen voldoet, zal het aantal keuringen worden verhoogd.

De in te vullen aantallen keuringen zijn afhankelijk van onder andere de grootte van de partij, de lengte van de periode waarin de partij geproduceerd wordt en het belang van het aan de eisen voldoen van de aan te voeren breuksteen.

Voor 10000 ton kan het aantal keuringen bijvoorbeeld twee tot vier bedragen en voor een partij van 30000 ton drie tot zes.

- 44f. Op verzoek en op aanwijzing van de directie of de namens de directie optredende keuringsinstantie worden aselekt tenminste 5 representatieve monsters genomen uit de geproduceerde/ mm.

Elk monster dient een massa te hebben van tenminste kg.

Zie 13.2.2, lid 19 voor de minimale massa van elk monster.

Zie voor monsterneming ook hoofdstuk 13.3.1.

45z. Op verzoek en op aanwijzing van de directie of de namens de directie optredende keuringsinstantie worden aselekt tenminste 3 representatieve deelmonsters genomen uit de geproduceerde - kg. De deelmonsters vormen samen een monster, dat tenminste 200 steenstukken moet bevatten, die zwaarder zijn dan scherven.

Bij- worden de nominale grenzen ingevuld van de desbetreffende sortering.

Zie voor monsterneming ook hoofdstuk 13.3.1.

De keuring van sorteringen, die uit steenstukken bestaan, die slechts met hefwerktuigen verplaatst kunnen worden, kan vooral bij zware sorteringen nogal arbeidsintensief zijn en gedurende enkele dagen het gebruik van een weegbrug en een kraan vergen.

Het genoemde aantal steenstukken van 200 kan voor deze sorteringen teruggebracht worden tot een geringer aantal.

Indien de keuringsuitslag van dit monster en visuele beoordeling onvoldoende zekerheid geeft over het wel of niet voldoen aan de eisen van het geproduceerde materiaal, kunnen meer monsters genomen worden van dezelfde grootte tot een maximum van in totaal 3 monsters. Dit wordt hier niet verder in besteksbepalingen uitgewerkt.

Overigens geldt, dat de gemiddelde massa van zware steensorteringen eenvoudig gecontroleerd kan worden door het wegen van ladingen van vrachtwagens en het tellen van het aantal steenstukken.

Voor de genoemde visuele beoordeling is door ervaring verkregen deskundigheid nodig!

46f. De korrelverdeling van de monsters wordt bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 5.

47f. De gemiddelde korrelverdeling van de monsters wordt berekend als het rekenkundig gemiddelde van de gesommeerde zeefresten per monster.

- 48z. De massaverdeling en de gemiddelde massa van de steenstukken van het monster worden bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 6.
49. Door visuele beoordeling wordt nagegaan of steenstukken bedekt zijn met aangehechte leem of klei.
50. De aanwezigheid van zonnebrand in basalt wordt van 40 aselekt genomen steenstukken onderzocht volgens DIN 52106, uitgave november 1972.
51. De bestandheid tegen vorst- en dooiwisselingen wordt van 10 aselekt genomen steenstukken onderzocht volgens de Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine, uitgave 1976.
- 52z. De aanwezigheid van schadelijke scheuren en schadelijke aderen wordt nagegaan door visuele beoordeling.
53. Het gehalte aan steenstukken met een kleinere verhouding tussen dikte en lengte dan $1/3$ wordt bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 7.
54. De dynamische verbrijzelingswaarde wordt bepaald volgens de proefbeschrijving in rapport WKE-R-82002 "Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw", appendix 8.
55. De dichtheid van..... aselekt genomen steenstukken of delen daarvan van ten minste 500 g wordt bepaald volgens proef (67), methode 2, van de "Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw".

Van de gemeten dichtheden wordt het rekenkundig gemiddelde bepaald.

Voor toelichting bij de leden 49 tot en met 55, zie de leden 24 tot en met 30.

56. De resultaten van het onderzoek volgens leden tot en met moeten voldoen aan de keuringseisen volgens leden tot en met
57. Indien de resultaten van het onderzoek niet aan de keuringseisen voldoen mag geen materiaal (meer) worden geleverd tot, na wijziging van het produktieproces en/of winplaats, door de producent aangetoond kan worden, dat het geproduceerde materiaal (weer) aan de eisen voldoet.

13.2.5. Keuring tijdens de produktie door de producent.

58. De aannemer laat de producent tijdens de produktie van het te leveren materiaal éénmaal perton geproduceerd materiaal, een keuring uitvoeren volgens leden tot en met

De in te vullen lidnummers betreffen de leden 44 tot en met 48.

De keuringsfrequentie hangt af van de grootte van de partij en het aantal weken, waarin de partij geproduceerd zal worden. Voor een partij van 10000 ton kan het aantal keuringen bijvoorbeeld vier bedragen en voor een partij van 30000 ton zes.

59. De resultaten van de onderzoeken volgens lid 59 dienen binnen twee weken na het verrichten van elk onderzoek schriftelijk in het bezit van de directie te zijn.
60. Indien de volgens lid 58 onderzochte monsters niet aan de eisen voldoen, mag geen materiaal meer worden geleverd tot, na wijziging van het produktieproces, aangetoond kan worden, dat het geproduceerde materiaal weer aan de eisen voldoet.

13.2.6. Keuringen voor een partij breuksteen.

Voor een partij breuksteen kunnen alle of een deel van de keuringen volgens 13.2.2. tot en met 13.2.5. voorgeschreven worden. Hierna worden de diverse mogelijkheden aangegeven, inclusief de besteksbepalingen die daarbij kunnen gelden.

I Keuring na aanvoer.

A. Keuringseisen breuksteen.

Zie 13.2.1., leden 1 tot en met 13.

B. Keuring na aanvoer.

Zie 13.2.2., leden 14 tot en met 33.

II Keuring bij een vooronderzoek en na aanvoer.

A. Keuringseisen breuksteen

Zie 13.2.1., leden 1 tot en met 13.

B. Keuring bij een vooronderzoek.

Zie 13.2.3., leden 34 tot en met 39

C. Keuring na aanvoer.

Zie 13.2.2., leden 14 tot en met 33

III Keuring bij een vooronderzoek, tijdens de produktie door de directie en na aanvoer.

A. Keuringseisen breuksteen.

Zie 13.2.1., leden 1 tot en met 13.

B. Keuring bij een vooronderzoek.

Zie 13.2.3., leden 34 tot en met 39

C. Keuring tijdens de produktie door de directie.

Zie 13.2.4., leden 40 tot en met 57

D. Keuring na aanvoer.

Zie 13.2.2., leden 14, 15, 16, 20 en 31 tot en met 33. Toe te voegen lid na lid 20:

De monsters kunnen onderzocht worden volgens leden 46 tot en met 55.

Bij lichte en zware sorteringen wordt "De monsters kunnen" gewijzigd in "Het monster kan".

IV Keuring bij een vooronderzoek, tijdens de produktie door de directie en de producent, en na aanvoer.

A. Keuringseisen breuksteen.

Zie 13.2.1., leden 1 tot en met 13.

B. Keuring bij een vooronderzoek.

Zie 13.2.3., leden 34 tot en met 39.

C. Keuring tijdens de produktie door de directie.

Zie 13.2.4., leden 40 tot en met 57

Het aantal keren, dat de directie in de groeve keurt kan in dit geval geringer zijn, omdat ook door het bedrijf controle wordt uitgeoefend. De door de directie uit te voeren keuringen hebben tevens als doel de door het bedrijf uitgevoerde keuringen te controleren.

D. Keuring tijdens de produktie door de producent.

Zie 13.2.5., leden 58 tot en met 60.

E. Keuring na aanvoer.

Zie III D.

13.3. Uitvoering en betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole.

Uit de besteksbepalingen en de voorschriften, die in hoofdstuk 13.2 genoemd zijn, blijkt grotendeels hoe de kwaliteitscontrole wordt uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt de wijze, waarop de bemonstering het beste uitgevoerd kan worden nader beschreven en wordt aangegeven hoe de afmetingen en de massa van steenstukken bepaald kunnen worden. Tevens wordt op de betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole ingegaan.

13.3.1. De bemonstering van breuksteen.

De bemonstering van breuksteen ter controle van de korrel- of massaverdeling moet aan diverse voorwaarden voldoen.

Een monster moet representatief zijn voor het materiaal, waaruit het genomen is. Dit houdt in, dat een monster voldoende steenstukken moet bevatten om te vermijden, dat de kwaliteit van het monster te veel afhankelijk is van het toevallig wel of niet aanwezig zijn van een bepaald steenstuk in het monster.

Een monster moet zoveel mogelijk aselekt genomen worden.

Dit betekent, dat zo mogelijk elk steenstuk van een te bemonsteren hoeveelheid breuksteen dezelfde kans heeft in een monster opgenomen te worden. Volledige aseleetheid is praktisch niet mogelijk bij bemonstering van een depot of van een scheepslading voorafgaande aan het lossen. De monsterneming blijft hierbij beperkt tot het oppervlak van de massa breuksteen. Aseleete bemonstering van de bovenste laag van een massa breuksteen kan uitgevoerd worden door op willekeurige plaatsen een monster te nemen. De plaatsen zouden door loting verkregen kunnen worden. Aan de voorwaarden van aseleetheid wordt echter ook voldaan indien volgens een bepaald patroon, bijvoorbeeld op regelmatige afstanden, monsters genomen worden. De kwaliteit van de monsters mag dan hierdoor niet in een bepaalde richting beïnvloed worden. Onder dezelfde voorwaarde kan een materiaalstroom niet alleen op willekeurige tijdstippen bemonsterd worden, maar ook met vaste tussenpozen.

Bij de bemonstering moet ook rekening gehouden worden met de variatie van de kwaliteit van het materiaal. Deze variatie kan onder andere inherent zijn aan het winnings- en produktieproces, of veroorzaakt zijn door ontmenging. Naarmate de variatie van de kwaliteit toeneemt, is het aantal benodigde monsters groter om eenzelfde betrouwbare uitspraak te verkrijgen over de gemiddelde kwaliteit van de te bemonsteren massa. In het geval van ontmenging kan met de kwaliteitsvariatie rekening gehouden worden door een daarop gerichte bemonstering. Dit bevordert de betrouwbaarheid van de keuringsuitslag.

De wijze waarop het materiaal ontmengd is moet dan wel goed bekend zijn.

Bemonstering na aanvoer.

Bij bemonstering na aanvoer gaat het meestal om bemonstering van een scheepslading vóór of tijdens het lossen.

Bij bemonstering vóór het lossen wordt visueel beoordeeld of bepaalde delen van de lading zodanig afwijken van de rest, dat een aparte bemonstering nodig is. De plaatsen waar monsters genomen worden stelt men van te voren vast door loting of door keuze van een bepaald patroon. Loting kan gebeuren door bijvoorbeeld op papier de lading zowel aan stuur- als aan bakboord per meter of pas te verdelen en te nummeren. Door uitloting kan men vaststellen bij welke meter of pas een monster genomen moet worden. De voor een uitloting te gebruiken lotingstabel (Appendix 4) bestaat uit cijferreeksen, waarvan de cijfers in willekeurige volgorde zijn geplaatst. Voor een uitloting gebruikt men een cijferreeks met meer getallen dan het aantal waaruit waarden uitgeloot moeten worden. Het uitloten bestaat uit het nemen van bijvoorbeeld de eerste waarden van de genoemde cijferreeks tot men voldoende waarden heeft, die overeenkomen met de genummerde meters of passen. Bij deze meters of passen neemt men de monsters.

In figuur 16 wordt een voorbeeld gegeven van een bemonstering volgens een bepaald patroon.

De monsters worden met de loskraan uit de lading genomen. Veelal is de poliepgrijper of de grijperbak zo groot, dat materiaal van nagenoeg de halve breedte van de lading in de monsters wordt opgenomen.

Bij bemonstering tijdens het lossen kan men de monsters op uitgelote tijdstippen nemen of met vaste tussenpozen. Er moet naar gestreefd worden, dat de kraanmachinist, die bij de lossing betrokken is, vóór het nemen van het monster niet weet, dat het betreffende materiaal als monster zal dienen. Een monster kan bestaan uit een vrachtwagenlading of een grijperlading of meerdere grijperladingen hetgeen vooral afhankelijk is van de grootte van het verlangde monster.

Bemonstering in de groeve

Een aselechte en representatieve bemonstering bij de produktie is zeer goed mogelijk, indien het materiaal direct na de produktie met een transportband vervoerd wordt.

Zo mogelijk worden de monsters genomen door juist voldoende materiaal uit de afloop van de transportband op te vangen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren met de bak van een wiellader. Indien men niet bij de afloop van de transportband kan komen, kan men de monsters van de transportband nemen na het stil zetten van de band. Elk monster moet vanaf een gemerkt punt van de bandinstallatie genomen worden om de mogelijkheid van een min of meer selecte bemonstering te vermijden.

Indien de te bemonsteren sortering niet met een transportband vervoerd wordt, dan kunnen ladingen van andere middelen van vervoer of overslag zoals vrachtwagens, wielladers en kranen als monster genomen worden. In het algemeen zal dit voor zware sorteringen gelden. Ook hierbij geldt, dat vermeden moet worden, dat de bemonstering min of meer beïnvloed zou kunnen zijn door vóórkennis over het moment van monsterneming.

Bij lichte en zware sorteringen kan mogelijk direct voor het verladen of bij afvoer uit de groeve naselectie toegepast worden. Dit kan aanleiding zijn de bemonstering na de naselectie uit te voeren.

Bemonstering uit een depot is meestal onaantrekkelijk, omdat het materiaal ontmengd kan zijn en niet aselekt bemonsterbaar is doordat de kern van het depot niet bereikbaar is. Indien bemonsteren uit een depot uitgevoerd moet worden, kan men monsters op uitgelote plaatsen nemen of op vaste afstanden van elkaar. Indien het depot ontmengd is moet zo mogelijk elk monster samengesteld worden uit drie deelmonsters, die op verschillende niveaus met gelijke tussenafstanden genomen worden (figuur 17). Een en ander vereist voor elke situatie een deskundige beoordeling.

Fijne sorteringen worden wel overgeslagen vanuit silo's. Het materiaal in de silo is meestal min of meer ontmengd. Deze ontmenging ontstaat vooral indien de silo een relatief grote diameter heeft en het materiaal op één punt in de silo gestort wordt. Dit laatste is het geval bij aanvoer van materiaal met een transportband. Bij het vallen in de silo rolt het grove materiaal vooral naar de silowand toe, terwijl het fijne materiaal meer in het midden blijft liggen (figuur 18).

Bij het leegmaken van de silo komt eerst relatief fijn materiaal tot het moment, dat de kegelvormige kop die bij het laden ontstaan is gewijzigd is in een kegelvormig dal. Daarna komt relatief grof materiaal uit de silo.

Door gelijktijdige vulling van en afname uit de silo, ontstaat met betrekking tot ontmenging een complex beeld.

Het is echter goed bij bemonstering uit een silo met ontmenging rekening te houden. In elk geval moet vermeden worden, dat alle monsters uit relatief fijn of grof materiaal genomen worden. Rekening houdend met de snelheid, waarmee de silo beladen wordt en materiaal uit de silo wordt afgenomen, dient er voldoende tussentijd bij het nemen van de monsters in acht te worden genomen.

Afhankelijk van de mate van ontmenging en daarmee van de variatie van de grofheid van de monsters, dient een aangepast aantal monsters genomen te worden om een bepaalde mate van betrouwbaarheid van de keuringsuitslag te bereiken.

Als voorbeeld geldt, dat als de standaardafwijking van een zeeffractie met de helft toeneemt, 8 in plaats van 5 monsters genomen moeten worden om een even betrouwbare gemiddelde waarde voor de betreffende zeeffractie te verkrijgen. In de groeve is de variatie van de korrel- of de massaverdeling van het te bemonsteren materiaal veelal geringer dan van het materiaal in het schip. Om deze reden is het minimale aantal te nemen monsters bij een keuring in de groeve lager gesteld dan bij keuring na aanvoer (vergelijk hoofdstuk 13.2 leden 44 en 45 met de leden 19 en 20).

Deling van monsters

Veelal is van genomen monsters slechts een deel voor onderzoek nodig. Dit kan vooral bij fijne en lichte sorteringen voorkomen.

Het delen van een monster kan uitgevoerd worden door een draad als scheidslijn over het monster te spannen en het monster volgens deze lijn te scheiden in 2 delen. Hierbij moet ook op ontmenging gelet worden. Een uit een wielladerbak gestort monster wordt bijvoorbeeld in een linker- en rechterdeel van de bakinhoud verdeeld en niet in een voorste en achterste deel.

Het nemen van een kleine hoeveelheid uit een groot monster kan uitgevoerd worden door een strook materiaal te nemen uit het gespreid gestorte grote monster. Zo kan men een vrachtwagenlading rijdend leeg kippen, zodat een enkele decimeters dikke langgerekte laag ontstaat, waaruit men in dwarsrichting over een bepaalde strookbreedte het materiaal wegneemt. Hierbij vermijdt men het begin en het einde van de gestorte laag.

Uit een niet te groot aantal steenstukken kan men een kleiner aantal stukken nemen door uitloting. Dit kan ook uitgevoerd worden door van genummerde steenstukken of van steenstukken, die in een rij gelegd zijn, steeds om een bepaald aantal steenstukken een steenstuk te nemen. Dit principe kan men bijvoorbeeld ook volgen voor het nemen van een beperkt aantal steenstukken voor dichtheids- of vormcontrole bij het wegen van een vele malen groter aantal steenstukken.

13.3.2. De bepaling van afmetingen en de massa van steenstukken.

De afmetingen dikte en lengte van steenstukken kunnen met schuifmaten bepaald worden. Voor steenstukken van fijne steensorteringen kan gebruik worden gemaakt van schuifmaten, die in de handel verkrijgbaar zijn. In West-Duitsland is een schuifmaat ontwikkeld ter bepaling van de afmetingen van steenstukken van lichte steensorteringen. Voor het meten van de dikte en lengte van zware steensorteringen is door de WBD apparatuur vervaardigd volgens het principe van de schuifmaat.

Voor de bepaling van de massa van steenstukken kan allerlei apparatuur gebruikt worden. Voor monsters en fracties van fijne steensorteringen en steenstukken van lichte steensorteringen, die met mankracht opgetild kunnen worden, komen vooral balansen in aanmerking. De eenvoudigste en minst kwetsbare balans is de bekende "bascule" met een weegvermogen tot enkele honderden kilogrammen. De kleinste eenheid, waarin de massa afgelezen kan worden is gewoonlijk 0,1 kg. Als nadelen gelden, dat het wegen betrekkelijk veel tijd kost en de geijkte gewichten gemakkelijk verloren kunnen gaan. Een balans met schuifgewichten kent het laatstgenoemde nadeel niet, waarbij ook het wegen iets sneller uitgevoerd kan worden. Met een elektrische balans kan het snelste en meest nauwkeurig gewogen worden. De steenstukken van de sortering 10-60 kg kunnen nog met mankracht op de balans getild worden behalve wellicht de zwaarste steenstukken, die op de balans gerold kunnen worden.

Voor zwaardere steensorteringen dan 10-60 kg komen de volgende weegsystemen en apparaten in aanmerking:

- Een veersysteem, zoals bij een unster (blz. 9).
- Een elektronisch systeem gebaseerd op rekstroomjes (druk- of trekdozen). Een trekdoos kan in de hijsdraad van een kraan ingebouwd worden (blz. 9). Drukdozen kunnen in een weegbrug of weegtafel opgenomen zijn. Het gebruik van een weegbrug, bijvoorbeeld in de steengroeve, kan als nadeel hebben, dat het gebruikelijk wegen van ladingen van vrachtwagens te veel gestoord wordt. Het wegen met een weegtafel voorzien van vier drukdozen is in de praktijk een goed bruikbare werkwijze gebleken, waarbij een grote nauwkeurigheid bereikt kan worden.
- Een mechanisch systeem zoals bij een balans. Dit principe komt voor bij vaste en verplaatsbare weegbruggen. Er komen ook bascules voor met een groter weegvermogen dan gewoonlijk bij dit type het geval is.

Bij het hangend wegen van steenstukken is het aan te bevelen in plaats van een grijper stroppen te gebruiken om de steenstukken te hijsen. Door het ontbreken van de grote massa van de grijper kan dan veelal weegapparatuur met een geringer weegvermogen toegepast worden, waardoor nauwkeuriger gewogen kan worden.

In elk geval moet het optreden van grote schokken vermeden worden, waardoor de weegapparatuur onregelmatig of beschadigd zou kunnen worden.

In het algemeen geldt, dat het omgaan met lichte en zware steensorteringen met grote voorzichtigheid en goede voorzorgsmaatregelen moet gebeuren om de kans op lichamelijk letsel zo klein mogelijk te houden.

3.3.3. De betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole.

De betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole is afhankelijk van de proeffout, van de monsterneming en van het aantal en de omvang van de monsters waarop onderzoek wordt uitgevoerd.

Indien bepaalde onderdelen van kwaliteitscontrole slechts voor visuele beoordeling kunnen worden uitgevoerd, dan kan de betrouwbaarheid nogal variëren. Dit geldt bijvoorbeeld voor de controle op schadelijke scheuren, schadelijke aderen en aangehechte leem of klei (zie ook hoofdstuk 13.2.2). Dit heeft echter in de praktijk geen ernstige problemen op te leveren, indien de directie en de leverancier hierover vóór aanvang van de levering overleg plegen.

De proeffout is voor de in hoofdstuk 13.2. genoemde proeven nog niet vastgesteld. Op grond van beschouwingen en praktische ervaring wordt aangenomen, dat de proeffouten gering zijn.

De voorwaarden en mogelijkheden voor een betrouwbare monsterneming zijn in hoofdstuk 13.3.1. behandeld.

De variatie van de grofheid van lichte en zware sorteringen kan gering zijn. Dit geldt niet voor hoge depots, waarin aanzienlijke ontmenging aanwezig kan zijn. Bij fijne sorteringen kan in scheepsladingen enige ontmenging aanwezig zijn. Dit is vooral het geval naarmate de sortering breder is.

Op grond van praktische ervaring wordt geschat, dat gewoonlijk de genoemde ontmenging van lichte sorteringen breuksteen veel minder is dan voor bijvoorbeeld betongrind geldt. Een betrouwbare keuring van scheepsladingen fijne breuksteen is dan ook goed mogelijk.

De betrouwbaarheid van de kwaliteitscontrole is afhankelijk van het aantal en de omvang van de monsters waarop onderzoek wordt uitgevoerd. Dit geldt ook voor een homogene partij breuksteen. Indien men de kwaliteit van een partij breuksteen exact wil kennen, dan moet men al het materiaal onderzoeken zonder een proeffout. Praktisch wordt een bemonstering uitgevoerd, waarbij het aantal en de omvang van de monsters tot een voldoende betrouwbare uitspraak over de kwaliteit van een partij moet leiden. Hierbij spelen enerzijds de keuringskosten een rol en anderzijds de voorwaarde dat de kansen van ten onrechte goed- of afkeuren verantwoord klein zijn.

In principe zijn de kansen van de leverancier en van de afnemer met betrekking tot een ten onrechte goed- of afkeuring gelijk in het keuringssysteem volgens hoofdstuk 13.2. Wanneer een partij juist niet aan een eis voldoet is de kans op een ten onrechte goedkeuring even groot als de kans op een ten onrechte afkeuring bij het juist wel voldoen aan de betreffende eis.

De producent heeft echter veelal de mogelijkheid om een zekere marge te houden tussen de werkelijke kwaliteit en de kwaliteit volgens de keuringseisen. Dit geldt in het bijzonder voor de korrel- en de massaverdeling. Ook door het bevorderen van de homogeniteit van een partij of scheepslading kan de producent of leverancier de kans op een ten onrechte afkeuring verkleinen.

De wel of niet terechte afkeurkans voor een niet beïnvloedbare eigenschap, zoals bijvoorbeeld de dichtheid, dient de leverancier goed te kennen. Wanneer de gemiddelde dichtheid van de breuksteen van de steenformatie gelijk is aan de minimale vereiste gemiddelde dichtheid, is de kans op een afkeuring groot, vooral indien naar tijd enige variatie in de dichtheid voorkomt.

De betrouwbaarheid van de controle op zonnebrand blijkt enigszins uit hetgeen bij de besteksbeoordeling volgens lid 25 is opgemerkt.

De betrouwbaarheid van de controle op bestandheid tegen vorst- en dooiwisselingen is afhankelijk van de variatie in bestandheid, die tussen de steenstukken voor kan komen.

De vorm van de steenstukken wordt gecontroleerd van ten minste 50 steenstukken. Indien een partij 10% steenstukken bevat met een geringere verhouding tussen dikte en lengte dan $1/3$, dan is de kans 4% dat 10 of meer van dergelijke steenstukken in het monster voorkomen.

Naarmate echter het gehalte ongunstig gevormde steenstukken dichter bij de nog acceptabele grenswaarde ligt, zal men geneigd zijn meer steenstukken te onderzoeken.

De betrouwbaarheid van de bepaling van de dynamische verbrijzelingswaarde en de dichtheid hangt sterk af van de variatie van de betreffende eigenschappen.

Over de betrouwbaarheid van de bepaling van de korrelverdeling zijn geen cijfermatige gegevens bekend. De eisen, die aan de korrelverdeling gesteld worden maken echter doorgaans een ruim voldoende marge mogelijk tussen de werkelijke kwaliteit en de kwaliteit volgens de keuringseisen. Dit geldt zeker voor de voorgestelde standaardsorteringen (zie hoofdstuk 9.3.3.).

Over de betrouwbaarheid van de bepaling van de massaverdeling van een partij zijn de volgende gegevens bekend, die door statistische berekeningen zijn afgeleid uit de resultaten van keuring van scheepsladingen.

Voor een scheepslading 10-60 kg werden de volgende 95%-betrouwbaarheidsgebieden vastgesteld: lichter dan 10 kg 6-8%(m/m); zwaarder dan 60 kg 20-37%(m/m); gemiddelde massa van de steenstukken exclusief de scherven: 19,9 - 24,3 kg.

Van een andere scheepslading 10-60 kg werden de volgende 95%-betrouwbaarheidsgebieden vastgesteld: lichter dan 10 kg:

8-12%(m/m); zwaarder dan 60 kg 12-24%(m/m); gemiddelde massa exclusief scherven: 19,0 - 22,4 kg.

Uit de resultaten van het onderzoek van 9 scheepsladingen 10-60 kg volgde een grootte van het 95%-betrouwbaarheidsgebied van de gemiddelde massa van de steenstukken van ongeveer 4,8 kg.

Van twee scheepsladingen 300-1000 kg werden na onderzoek van de massaverdeling de volgende 95%-betrouwbaarheidsgebieden vastgesteld: zwaarder dan 1000 kg ongeveer 11-25%(m/m); lichter dan 300 kg 13,3 - 17,5%(m/m) en 14,7 - 18,7%(m/m); gemiddelde massa exclusief de scherven: 483-565 kg en 501-595 kg.

Uit het voorgaande volgen, mede afhankelijk van de door de producent aanvaardbaar geachte risico's, de marges die ongeveer aangehouden kunnen worden. Deze marges zijn voor wat betreft de gemiddelde massa en de 30%-eis betrekkelijk groot.

De betrouwbaarheid van de keuring op de 3%-eis (zwaarste steenstukken) is zodanig, dat de betreffende zware steenstukken praktisch niet in de partij voor mogen komen (zie ook hoofdstuk 9.3.1.).

De overige eisen betreffende de massaverdeling kunnen zeer betrouwbaar gecontroleerd worden.

Zoals eerder is opgemerkt ligt het voor de hand het aantal of/en de omvang van de monsters te vergroten naarmate er minder verschil is tussen de werkelijke kwaliteit en een grenswaarde volgens de keuringseisen.

In het geval van een herkeuring wordt een grotere betrouwbaarheid van het onderzoekresultaat verkregen door de beide resultaten samen te voegen. Dit is echter alleen acceptabel, indien geen twijfel bestaat over de juistheid van één van beide onderzoeken.

Appendix

1. De variatie van de weerstand tegen stroming per sortering.

De weerstand tegen stroming van een sortering breuksteen kan, voor wat de afhankelijkheid van de maatgevende steendiameter en de dichtheid betreft, geschreven worden als $\bar{u} = \sqrt{\Delta \cdot D}$ (zie ook blz. 54).

Hierna wordt ervan uitgegaan, dat de diameter D van het maatgevende steenstuk overeen komt met D_{50} .

Bij een bepaalde dichtheid is dan de variatie in weerstand tegen stroming van een sortering afhankelijk van de variatie dan de D_{50} of M_{50} voor zover de eisen aan de betreffende sortering dit toelaten. Voor fijne sorteringen (blz. 50) en lichte sorteringen (blz. 46) is de verhouding tussen de maximale en minimale weerstand tegen stroming als volgt:

$$\text{- fijne sorteringen: } \frac{\bar{u}_{\text{max.}}}{\bar{u}_{\text{min.}}} = \sqrt{\frac{D_{50 \text{ max.}}}{D_{50 \text{ min.}}}} = \sqrt{1,6} = 1,26;$$

$$\begin{aligned} \text{- 5-40 kg: } \frac{\bar{u}_{\text{max.}}}{\bar{u}_{\text{min.}}} &= \sqrt{\frac{D_{50 \text{ max.}}}{D_{50 \text{ min.}}}} = \sqrt[6]{\frac{M_{50 \text{ max.}}}{M_{50 \text{ min.}}}} = \sqrt[6]{\frac{M \text{ max.}}{M \text{ min.}}} = \\ &\sim \sqrt[6]{\frac{20}{10}} = \sim 1,12. \end{aligned}$$

$$\text{- 10-60 kg: } \frac{\bar{u}_{\text{max.}}}{\bar{u}_{\text{min.}}} = \sim \sqrt[6]{\frac{35}{20}} = \sim 1,10;$$

$$\text{- 60-300 kg: } \frac{\bar{u}_{\text{max.}}}{\bar{u}_{\text{min.}}} = \sim \sqrt[6]{\frac{190}{130}} = \sim 1,07.$$

Hierbij is \bar{u} de gemiddelde kritieke stroomsnelheid bij het begin van bewegen van de steen.

Bij fijne sorteringen is de invloed van de dichtheid op de weerstand tegen stroming als volgt: $\frac{\bar{u}_1}{\bar{u}_2} = \sqrt{\frac{\rho_{k1} - \rho_w}{\rho_{k2} - \rho_w}}$

Voor lichte en zware sorteringen geldt:

$$\frac{\bar{u}_1}{\bar{u}_2} = \sqrt{\frac{(\rho_{k1} - \rho_w) \cdot D_{n1}}{\rho_{k2} - \rho_w \cdot D_{n2}}} = \sqrt{\frac{\rho_{k1} - \rho_w}{\rho_{k2} - \rho_w}} \cdot \sqrt[6]{\frac{\rho_{k2}}{\rho_{k1}}}$$

In figuur 11 is voor $\rho_w = 1.000 \text{ kg/m}^3$ de invloed van de dichtheid van de steen op de weerstand tegen stroming weergegeven.

2. De variatie van de weerstand tegen golfaanvallen per sortering.

De weerstand tegen golfaanvallen van een sortering breuksteen volgt onder andere uit de formule van Hudson (blz. 55). Voor wat de afhankelijkheid betreft van de maatgevende massa en de dichtheid, kan deze formule geschreven worden als $H_{\max.} = c \cdot \Delta \sqrt[3]{\frac{M}{\rho_k}}$.

Hierna wordt ervan uitgegaan, dat de massa M van het maatgevende steenstuk overeen komt met M_{50} .

Bij een bepaalde dichtheid is dan de variatie in weerstand tegen golfaanvallen van een sortering afhankelijk van de M_{50} voor zover de eisen aan de betreffende sortering dit toelaten. Voor fijne sorteringen (blz. 50) en lichte sorteringen (blz. 46) is de verhouding tussen de maximale en minimale golfhogte waaraan weerstand geboden kan worden als volgt:

$$\begin{aligned} - \text{fijne sorteringen: } \frac{H_{\max.}}{H_{\min.}} &= \sqrt[3]{\frac{M_{50\max.}}{M_{50\min.}}} = \sqrt[3]{4} = \sim 1,6; \\ - 5-40 \text{ kg: } \frac{H_{\max.}}{H_{\min.}} &= \sqrt[3]{\frac{M_{50\max.}}{M_{50\min.}}} = \sqrt[3]{\frac{M_{\max.}}{M_{\min.}}} = \sqrt[3]{\frac{20}{10}} = \sim 1,26; \\ - 10-60 \text{ kg: } \frac{H_{\max.}}{H_{\min.}} &= \sqrt[3]{\frac{35}{20}} = \sim 1,21; \\ - 60-300 \text{ kg: } \frac{H_{\max.}}{H_{\min.}} &= \sqrt[3]{\frac{190}{130}} = \sim 1,13. \end{aligned}$$

Bij fijne sorteringen is de invloed van de dichtheid op de weerstand tegen golfaanvallen als volgt:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(\rho_{k1} - \rho_w) \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_{k1}}}}{(\rho_{k2} - \rho_w) \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_{k2}}}}, \quad M_{50} = c \cdot \rho_k \cdot D_{50}^3 \text{ dus}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\rho_{k1} - \rho_w}{\rho_{k2} - \rho_w}$$

Voor lichte en zware sorteringen geldt:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\rho_{k1} - \rho_w}{\rho_{k2} - \rho_w} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{k2}}{\rho_{k1}}}$$

In figuur 12 is voor $\rho_w = 1.000 \text{ kg/m}^3$ de invloed van de dichtheid van de steen op de weerstand tegen golfaanvallen weergegeven.

3. De invloed van de dichtheid op de benodigde hoeveelheid breuksteen in filterlagen.

Voor breuksteen in filterlagen geldt voor de laagdikte d de voorwaarde, dat $d \geq c_1 \cdot D_{50}$.

De benodigde hoeveelheid steen is bij toepassing van een fijne sortering recht evenredig met de dichtheid.

Voor een bepaalde sortering lichte of zware breuksteen volgt de grenswaarde voor de laagdikte uit:

$$d = c_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_k}} = c_1 \cdot \sqrt[3]{M_{50}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{\rho_k}}$$

De hoeveelheid benodigde steen per eenheid van oppervlak volgt uit:

$$\begin{aligned} Q &= c_1 \cdot \sqrt[3]{M_{50}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{\rho_k}} (1 - 0,01 n) \rho_k = \\ &= c_1 \cdot \sqrt[3]{M_{50}} (1 - 0,01 n) \rho_k^{\frac{2}{3}} \end{aligned}$$

In figuur 15 is deze invloed van de dichtheid weergegeven.

4. Lotingstabellen.

Aselecte permutaties (lotingsgetallen)

1-1 t/m 10

Serie 3 6 10 2 8	Serie 8 10 3 4 7	Serie 3 1 5 7 4
1 9 1 4 5 7	2 6 5 1 9 2	3 8 10 9 2 6
Serie 9 3 4 10 6	Serie 7 3 5 10 9	Serie 9 10 8 1 3
4 2 7 1 5 8	5 2 8 4 1 6	6 2 7 4 6 5

2-1 t/m 20

06 16 09 07 19	17 01 08 13 07	08 06 19 13 03
Serie 03 18 12 11 01	Serie 10 04 05 09 14	Serie 05 11 02 01 18
1 20 08 13 17 14	2 02 19 15 03 06	3 20 04 15 07 09
05 15 10 02 04	12 18 11 20 16	12 14 16 17 10
20 09 10 14 11	06 04 16 15 08	05 03 09 16 06
Serie 05 19 03 06 04	Serie 19 13 12 17 03	Serie 02 17 08 15 13
4 17 18 13 02 15	5 10 18 14 02 09	6 11 10 01 04 14
07 08 01 12 16	07 20 01 05 11	19 07 20 12 18

3-1 t/m 50

42 16 32 40 17	37 21 38 30 19	22 38 27 02 35
36 03 23 41 10	02 43 01 04 20	20 37 30 26 45
34 25 07 47 44	24 45 50 11 27	43 47 12 17 36
24 29 30 04 22	47 32 16 36 25	44 15 25 09 31
Serie 13 26 11 37 50	Serie 07 17 41 44 23	Serie 41 06 40 49 10
1 31 02 33 06 12	2 31 34 12 42 29	3 39 08 19 28 05
45 05 14 27 21	18 08 49 03 40	01 18 21 34 24
01 15 20 19 38	33 15 39 28 05	23 29 11 42 07
35 43 39 49 28	35 14 09 26 13	50 48 32 16 04
46 18 48 08 09	48 46 22 06 10	14 03 33 46 13

4-1 t/m 100

81 74 67 95 70	03 16 15 40 71	84 05 56 07 91
61 37 42 62 93	77 07 86 46 61	26 98 74 12 45
52 07 16 29 39	92 67 78 72 66	80 32 73 54 69
43 08 77 25 72	43 75 91 02 04	79 86 46 57 99
65 32 27 40 63	69 95 29 53 39	09 100 48 36 06
21 58 11 23 80	83 13 99 94 52	04 76 59 44 89
31 90 55 88 13	18 37 42 44 55	00 96 68 65 67
73 98 20 05 68	20 97 21 22 58	24 52 29 70 11
33 15 35 26 79	89 80 79 10 41	27 50 60 97 37
Serie 75 66 99 09 06	Serie 26 60 45 01 11	Serie 66 40 49 85 33
1 56 51 54 50 53	2 35 19 62 09 34	3 95 63 01 42 30
96 34 18 22 89	25 48 74 38 87	19 23 82 14 55
04 71 14 76 78	12 14 17 65 76	16 41 71 77 75
49 86 03 83 45	93 30 85 59 96	35 94 28 21 51
57 97 84 82 87	88 08 64 81 28	64 93 18 20 25
10 30 01 100 44	84 27 73 05 32	13 58 72 08 47
36 24 91 19 64	23 54 51 98 63	61 88 62 22 31
46 69 85 94 59	57 68 24 90 33	34 53 10 03 17
92 38 12 41 17	31 70 36 47 06	87 78 81 15 43
47 48 60 28 02	82 100 49 56 50	92 39 02 83 38

5. Bepaling van de korrelverdeling.

Benodigdheden.

Balans, weegvermogen ten minste 150 kg, nauwkeurigheid ten minste 0,1 kg. Zeven volgens NEN 2560. Zeven ϕ 63 mm, ϕ 90 mm, ϕ 125 mm, ϕ 180 mm, ϕ 250 mm. De met ϕ aangegeven zeven bestaan uit loodrecht op elkaar gelaste stalen staven \emptyset 12 mm, waardoor vierkante gaten gevormd zijn, waarvan de maaswijdte met een tolerantie van $\pm 0,5$ mm overeenkomt met de nominale zeefmaat. Bakken met een inhoud van ten minste $0,10 \text{ m}^3$, waarop de met ϕ aangegeven zeven passen. Schop. Borstel.

Uitvoering.

Ga na of het monster verontreinigingen bevat.

Beschrijf de aard en de mate van de verontreinigingen.

Verwijder zo mogelijk de verontreinigingen uit het monster.

Bepaal zo mogelijk de massa van de verontreinigingen.

Leg de met ϕ aangegeven zeven op de bakken.

Breng het monster in gedeelten achtereenvolgens aan op de zeven in volgorde van maaswijdte en te beginnen met zeef ϕ 63 mm. Borstel eventueel fijn ahangend materiaal af van de steenstukken. Laat de steenstukken, waarvoor dit in enigerlei positie mogelijk is de zeef passeren vóór de zeefrest op een volgende zeef aangebracht wordt.

Neem van de fractie door zeef ϕ 63 mm (c kg), indien deze groter is dan 30 kg, door kwarteren een representatief deel van ten minste 15 kg (d kg).

Breng de fractie door zeef ϕ 63 mm, of het genoemde representatieve deel daarvan, in gedeelten achtereenvolgens aan op de NEN-zeven in afnemende volgorde van de afmeting der gaten. Laat de steenstukken, waarvoor dit in enigerlei positie mogelijk is de zeven passeren.

Weeg het materiaal op de afzonderlijke zeven (a_n kg) en de fractie, die de zeef met de kleinste gaten is gepasseerd (b kg) met een nauwkeurigheid van 0,1% van de totale hoeveelheid gezeefd materiaal ($\sum a_n + b$) kg.

Berekening.

Indien van de fractie door zeef ϕ 63 mm een representatief deel is gezeefd, bepaal dan voor de betreffende zeven a_n door de massa van het materiaal op de afzonderlijke zeven met $\frac{c}{d}$ te vermenigvuldigen.

Bereken de fracties tussen de opeenvolgende zeven als $\frac{a_n}{\sum a_n + b} \cdot 100\%$, met een nauwkeurigheid van 0,1%.

6. Bepaling van de massaverdeling.

Benodigheden.

Weegapparatuur, nauwkeurigheid ten minste 2% van de nominale ondergrens van de sortering.

Uitvoering.

Weeg elk steenstuk met een grotere massa dan een scherp afzonderlijk (a_n kg) en de gezamenlijke massa van de scherven (b kg) met een nauwkeurigheid van ten minste 2% van de nominale ondergrens van de sortering.

Berekening.

Bereken de gesommeerde massa's van de steenstukken, waarvoor eisen gelden (c_n kg) als $\frac{c_n}{\sum a_n + b} \cdot 100\%$ met een nauwkeurigheid van 0,1%.

Bereken de gemiddelde massa van de steenstukken exclusief de scherven als $\frac{\sum a_n}{n}$ kg met een nauwkeurigheid van 1 kg.

7. Bepaling van de vorm van steenstukken.

Benodigheden.

Meetapparatuur ter bepaling van afmetingen van steenstukken, nauwkeurigheid ten minste 3%. Weegapparatuur, nauwkeurigheid ten minste 2% van de massa van het lichtste te wegen steenstuk.

Uitvoering.

Neem aselekt ten minste 50 steenstukken van de grootste fractie van de korrel- of massaverdeling waarvoor een eis geldt.

Meet met een nauwkeurigheid van ten minste 3% de dikte van elk steenstuk als de minimale afstand tussen twee evenwijdige rechten, waar tussen het steenstuk nog juist kan passeren. Meet een nauwkeurigheid van ten minste 3% de lengte van elk steenstuk als de grootste afstand tussen twee punten van het steenstuk. Weeg elk steenstuk met een nauwkeurigheid van ten minste 2%.

Bepaal de totale massa van de steenstukken met een kleinere verhouding tussen dikte en lengte dan $1/3$ (a kg). Bepaal de totale massa van de steenstukken (b kg).

Berekening.

Bereken het gehalte aan steenstukken met een kleinere verhouding tussen dikte en lengte dan $1/3$ als $\frac{a}{b} \cdot 100\%$, met een nauwkeurigheid van 0,5%.

8. Bepaling van de dynamische verbrijzelingswaarde.

Benodigdheden.

Benodigdheden ter bepaling van de "aggregate impact value" volgens BS 812, part 3, 1975.

Zeven NEN 2560 - C11,2; C8 en 2 mm, Sleuvenzeven S-8 en S 5,6.

Uitvoering.

Neem aselekt ten minste 6 steenstukken of delen daarvan, waarvan de massa's onderling niet meer dan 25% verschillen. Breek de steenstukken met een kaakbreker. Zeef de fractie af tussen de zeven C11,2 en C8. Zeef van de fractie tussen de zeven C11,2 en C8 de fractie af tussen de zeven S-8 en S-5,6.

Bepaal de dynamische verbrijzelingswaarde als de "aggregate impact value" volgens BS 812, part 3, 1975 van de fractie tussen de zeven S-8 en S 5,6.

Gebruik bij deze proef de zeef 2 mm in plaats van de BS test sieve 2.36 mm.

9. Overige proeven voor breuksteen.

Beproeving op zonnebrand volgens DIN 52106, uitgave november 1972.

Onderzoek naar de bestandheid tegen vorst- en dooiwisselingen volgens de Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine, uitgave 1976.

Bepaling van de dichtheid van een steenstuk volgens de "Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw", proef (67), methode 2.

Literatuur

1. Schuman W. Elseviers gids voor stenen & mineralen
Elsevier, Amsterdam, 2e druk 1975
2. Loos H. Prüftechnik im Strassenbau, Teil II Mineralbaustoffe
im Strassenbau-Handbuch Stein Verlag/Erich Schmidt Verlag.
3. DIN 52105, Prüfung von Naturstein, Druckversuch, Aug. 1965.
4. Bundesminister für Verkehr, Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine
Ausgabe 1976.
5. ASTM, Standard Method of test for toughness of rock
ASTM Designation D3-18, reapproved 1952.
6. BS 812, British standard methods for sampling and testing of mineral
Aggregates, sands and fillers, part 3, mechanical properties, 1975.
7. Rijkswaterstaat Deltadienst, Afname stukmassa stortsteen door vallen
ONW-V-80146 Burghsluis, augustus 1980.
8. Waterbouwkundig Laboratorium, Geleidelijke sluiting. VI Invloed van de
vorm en gradering op de stabiliteit van stortsteen. M 731, december 1965.
9. Nederlands Normalisatie-instituut, Zetsteen, bloksteen en zink- en stort-
steen van natuursteen. NEN 529, 3e druk, oktober 1970.
10. Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken, Kust en Oeverwerken in
praktijk en theorie, maart 1979
11. Algemene Voorwaarden voor de uitvoering van werken 1968. Staatsuit-
geverij 1969.
12. Laan G.J. De relatie tussen de korrelverdeling en de massaverdeling.
RL-KO-79-04. Delft, oktober 1979.
13. Laan G.J. De relatie tussen de vorm en de massa van stukken breuksteen
MAW-R-81079 Delft, oktober 1981.
14. DIN 52106, Prüfung von Naturstein, Wetterbeständigkeit, Nov. 1972
15. Waterloopkundig Laboratorium, Begin van beweging van bodemmateriaal,
S 159-1, december 1971.
16. Waterloopkundig Laboratorium, Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen
Erosie en stabiliteit van bodem en oevers. M 1115, deel 8, januari 1982.
17. Waterloopkundig Laboratorium, Grindstranden, evenwichtsprofiel en
Langstransport bij regelmatige en onregelmatige golfaanval. Samenvatting
resultaten modelonderzoek en literatuurstudie. M 1216, deel 5, juni 1981.
18. Hudson R.Y., Laboratory investigations of rubble mound breakwaters.
U.S Army Engineers, Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi, 1959.
19. Spaargaren F., Vinje J.J., Some aspects of flow through and under
hydraulic structures used for closing of estuaries. Publication 73,
Delft Hydraulic Laboratory, 1969.
20. Waterloopkundig Laboratorium, Stormvloedkering Oosterschelde. Stabiliteit
van granulaire filters bij stationaire verhangen. M 1488, deel 1,
februari 1982.

21. Waterloopkundig Laboratorium, Stormvloedkering Oosterschelde. Stabiliteit van granulaire filters bij cyclische verhangen loodrecht op het grensvlak. M 1488, deel 2, februari 1982.

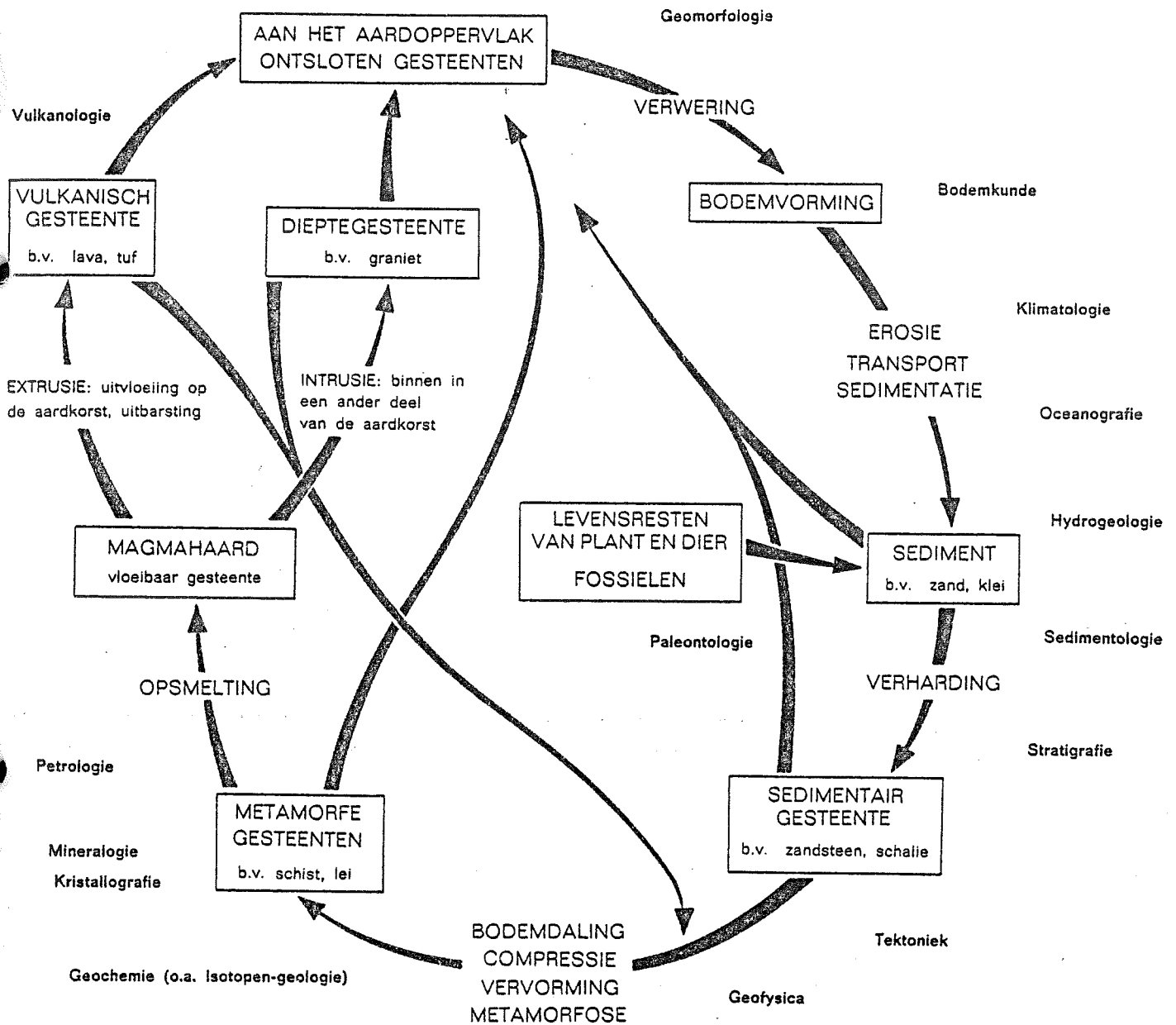
22. U.S. Army Engineers, Shore protection manuel, volume 2. Coastal Engineering Research Centre. Department of the Army Corps of Engineers, 1973.

23. Wittman L., The proces of soil filtration, its physics and the approach in engineering practice. Proceedings 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1979, Vol.I paper b42, Brighton 1979.

Lijst met symbolen

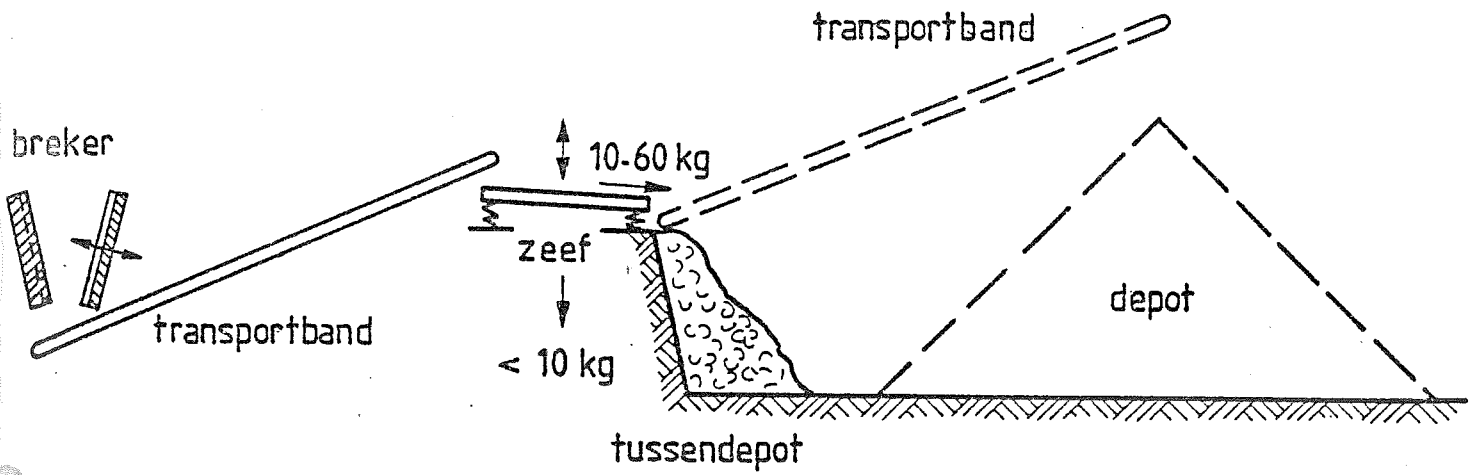
	eenheid	
b	coëfficiënt die afhankelijk is van de stromingsomstandigheden (turbulentie en waterdiepte) en de gekozen definitie van de maatgevende steendiameter	
d	de dikte van een steenstuk	mm
\bar{d}	de gemiddelde dikte van steenstukken	mm
s_d	de standaardafwijking van de dikte van steenstukken	mm
l	de lengte van een steenstuk	mm
\bar{l}	de gemiddelde lengte van steenstukken	mm
s_l	de standaardafwijking van de lengte van steenstukken	mm
g	versnelling van de zwaartekracht	m/s ²
n	poriëngehalte	%
\bar{u}	gemiddelde stroomsnelheid, waarbij begin van stabiliteitsverlies optreedt = kritieke stroomsnelheid	m/s
w	vochtgehalte	% (m/m)
z	zeefmaat	mm
D	diameter van het maatgevende steenstuk	m
D_n	nominale diameter van het maatgevende steenstuk	m
D_{50}	(D_x) de zeefmaat van een theoretische zeef met vierkante openingen, waardoor 50 (x) % (m/m) van de steenstukken van de betreffende sortering doorheen gaat (figuur 10)	mm
M	de massa van een steenstuk	kg
M_{50}	(M_x) de massa van een zodanig steenstuk, dat 50 (x) % (m/m) van de steenstukken van de betreffende sortering een geringere massa heeft (figuur 9)	kg
\bar{M}	de gemiddelde massa van de steenstukken van een sortering breuksteen exclusief de scherven	kg
H	golfhoogte	
K	stabiliteitscoëfficiënt, die onder andere afhankelijk is van de vorm van de steenstukken, de diepte van de teen van de constructie en het karakter van de golfaanval	
G	ballast	N/m ²
Q	hoeveelheid steen	kg/m ²
α	hellingshoek van het talud	o
Δ	relatieve dichtheid	
ϕ	hoek van inwendige wrijving van het steenmateriaal	o
ρ_k	dichtheid van de steenstukken	kg/m ³
ρ_v	dichtheid van de vaste stof van het steenmateriaal	kg/m ³
ρ_w	dichtheid van water	kg/m ³

GEOLOGISCHE CYCLUS VAN DE AARDE

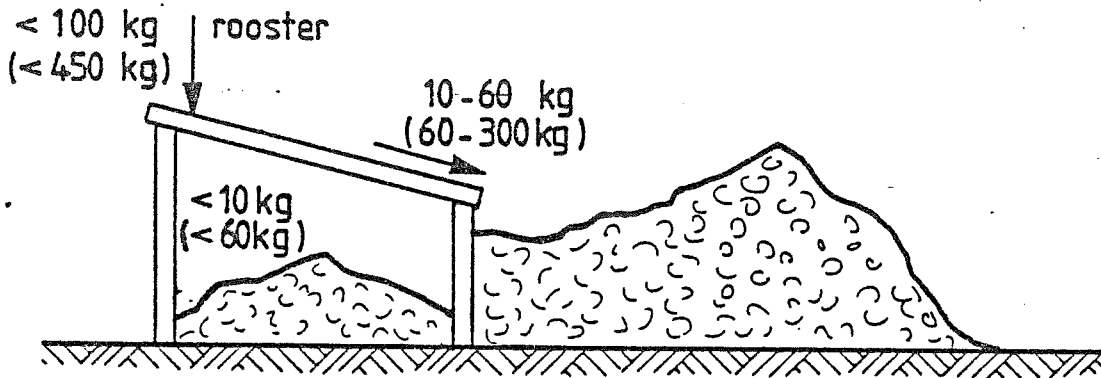


Museum van Geologie en Mineralogie, april 1976

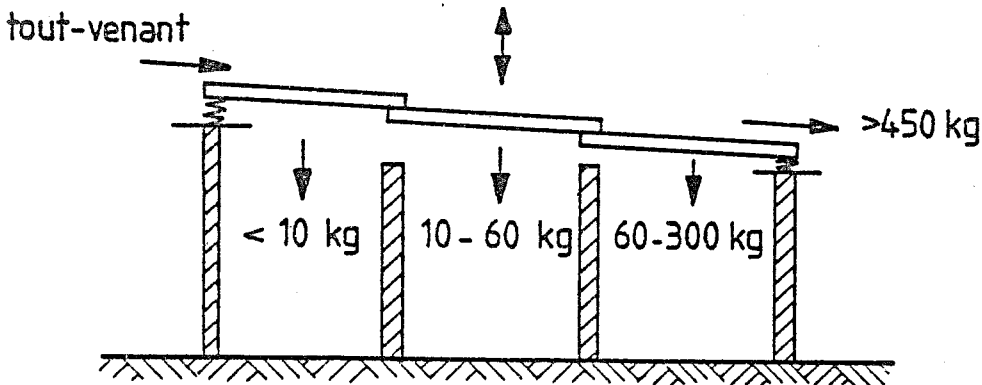
figuur 1



5 - 40 kg of 10-60 kg geproduceerd met een breker en een zeef

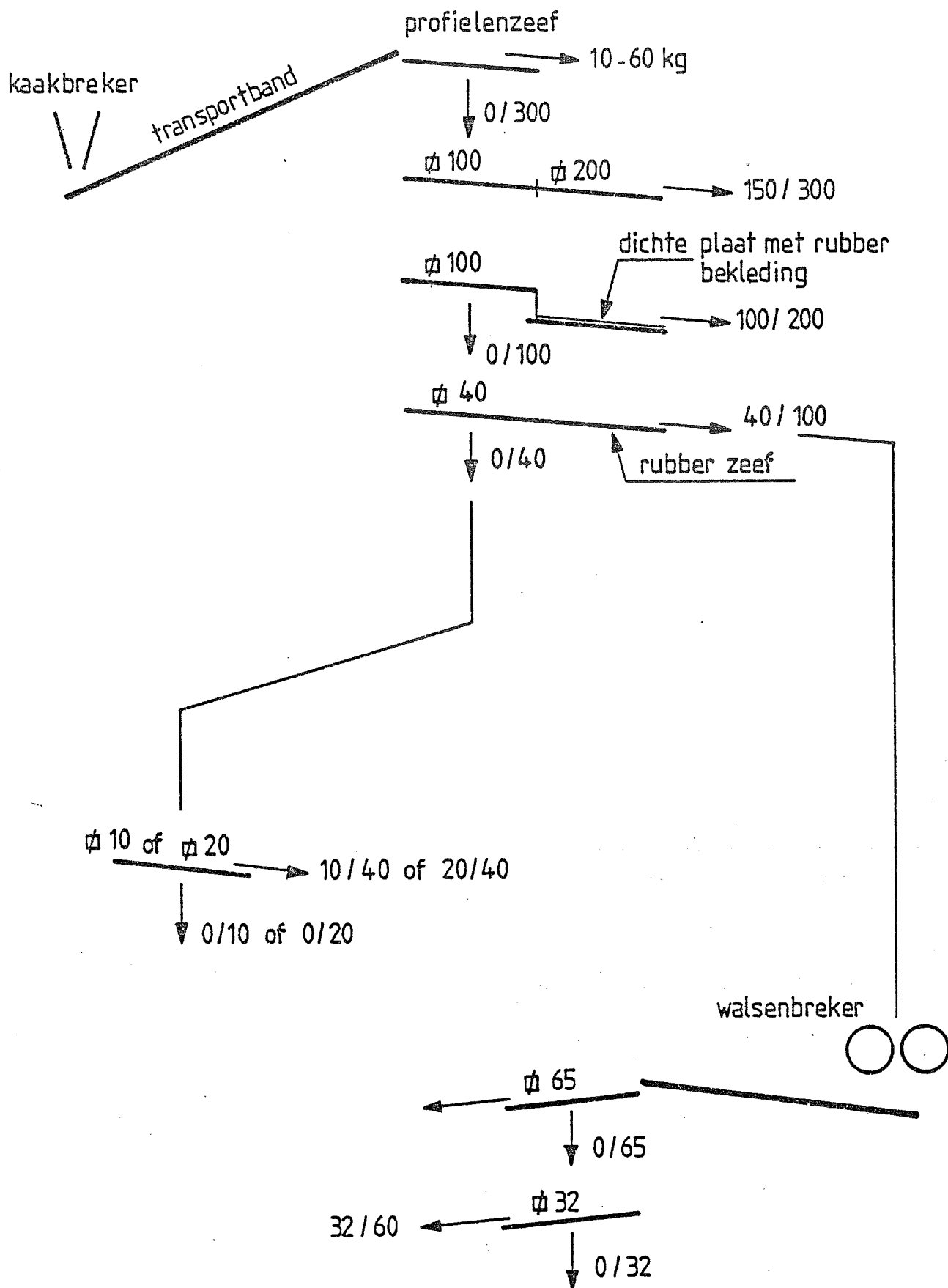


10-60 kg of 60-300 kg geproduceerd met een rooster



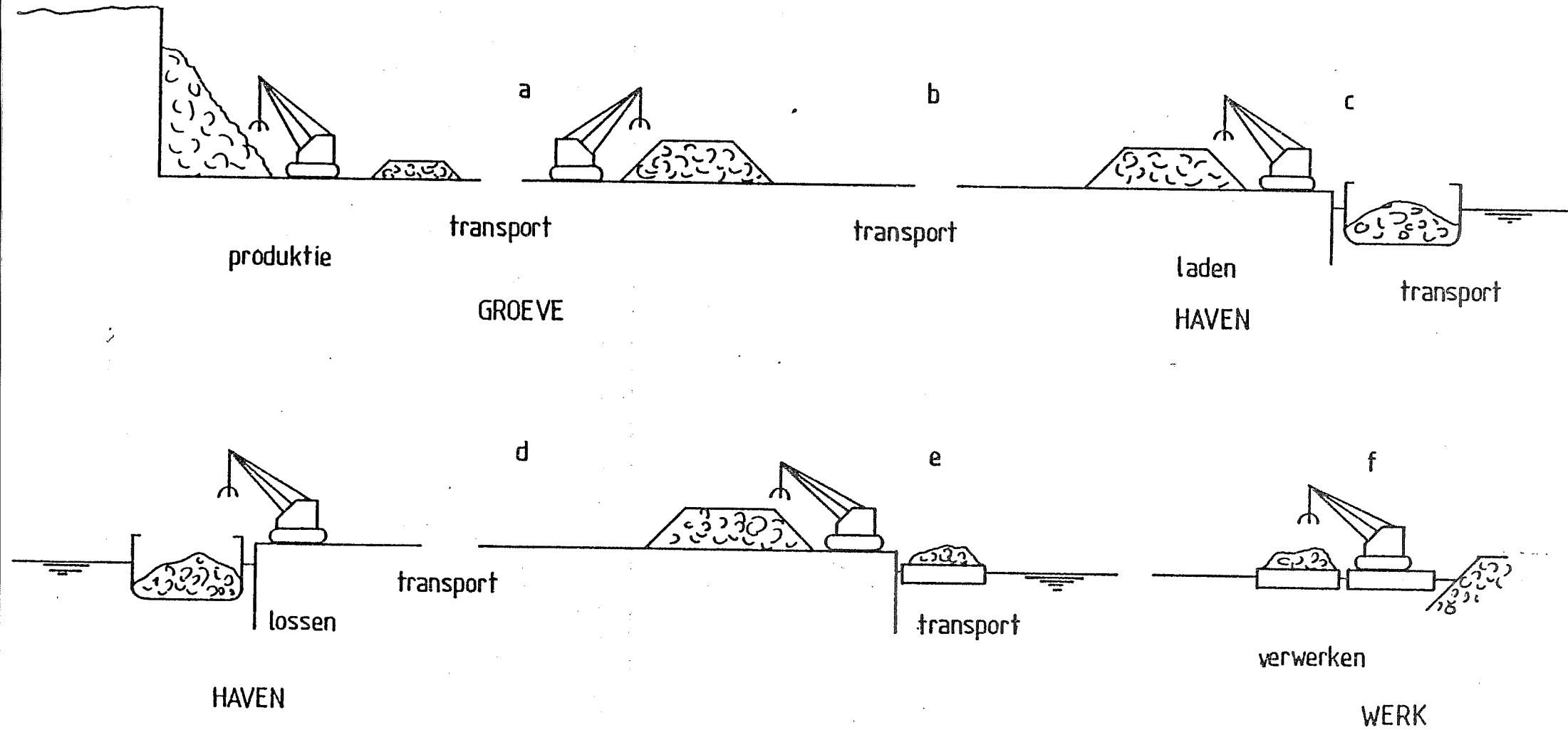
10-60 kg en 60-300 kg geproduceerd met een zeefinstallatie

figuur 2

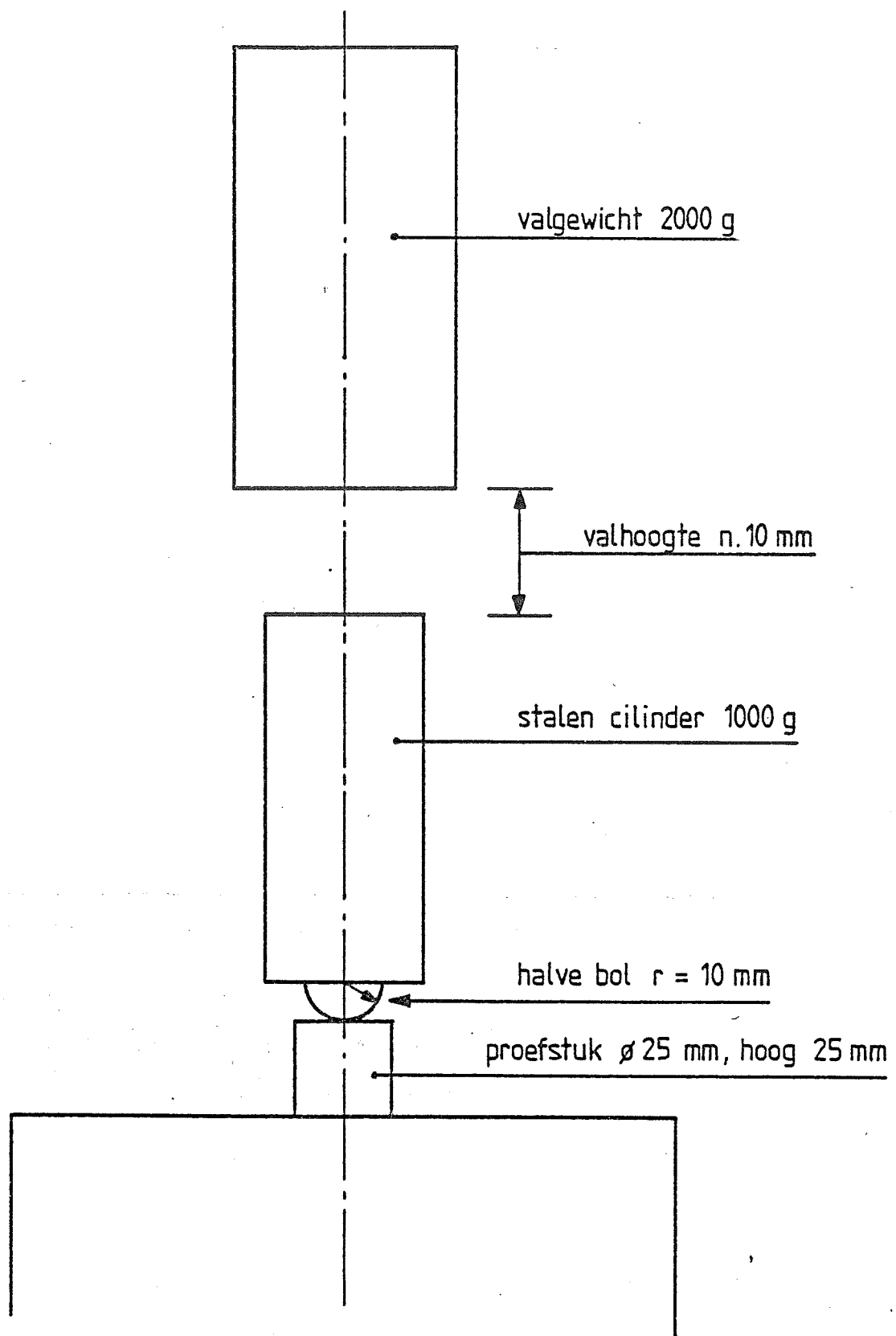


Schema van een breek-zeefinstallatie

figuur 3



figuur 4 Transport en overslag



figuur 5 De bepaling van de "toughness of rock"

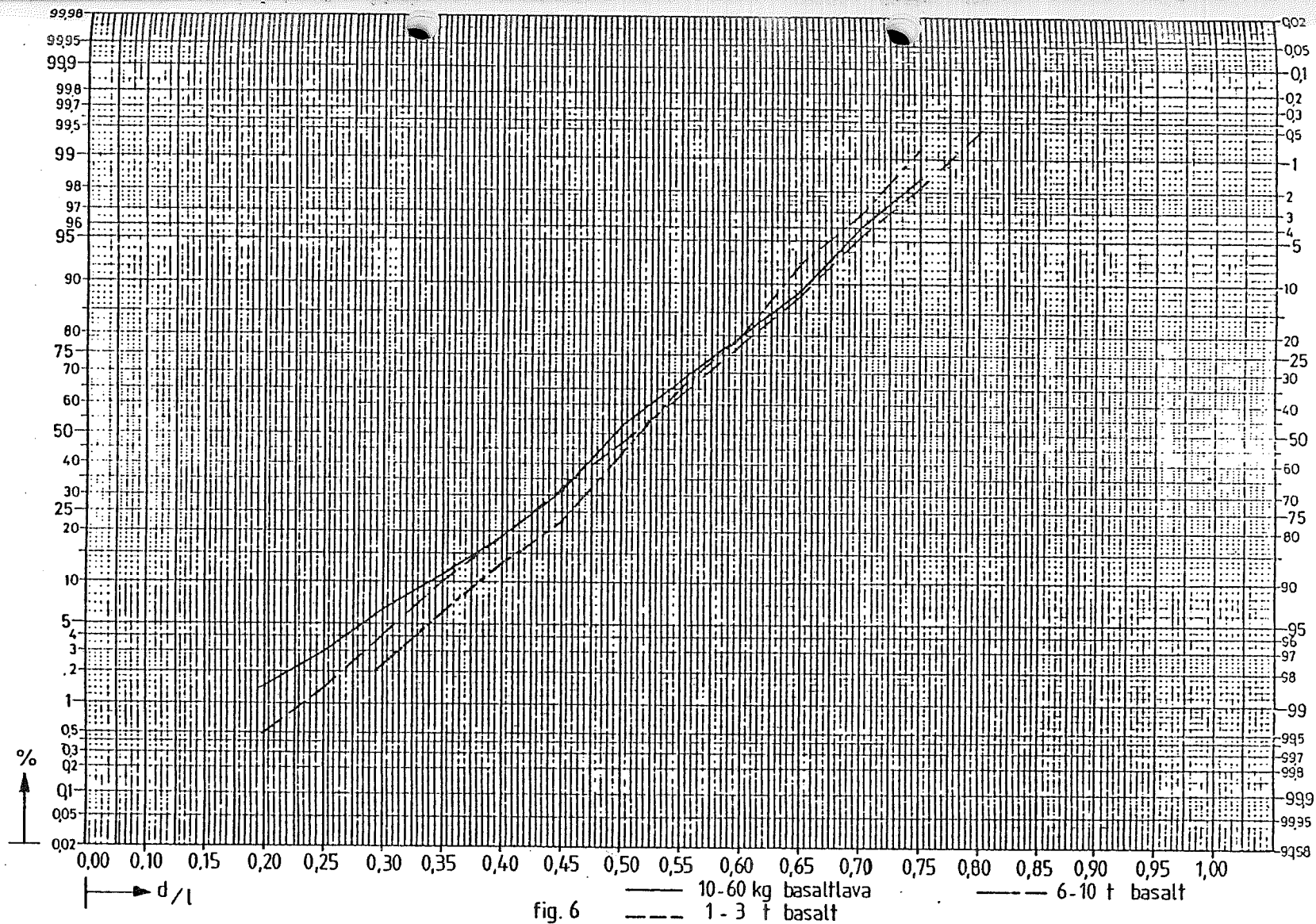
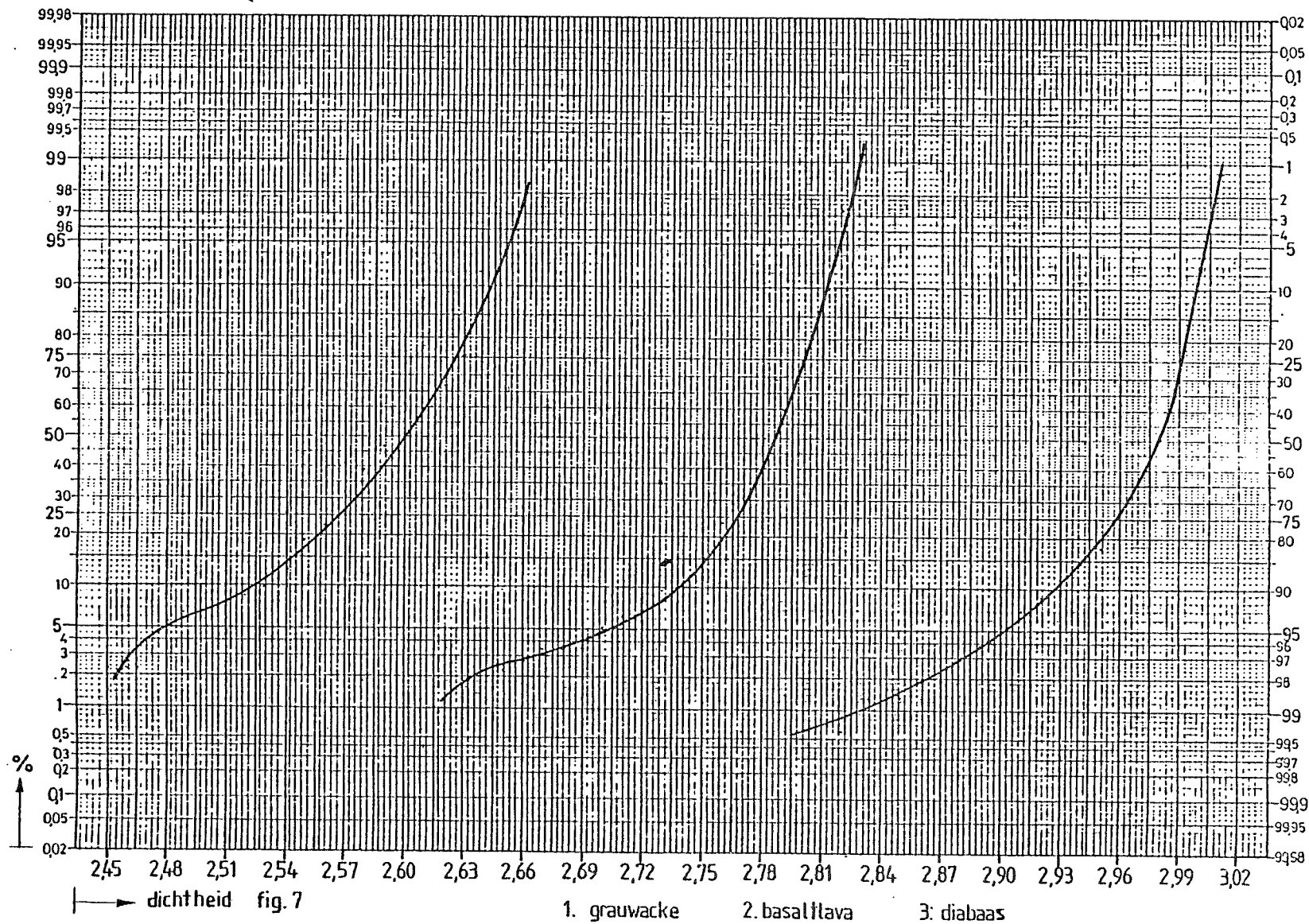


fig. 6



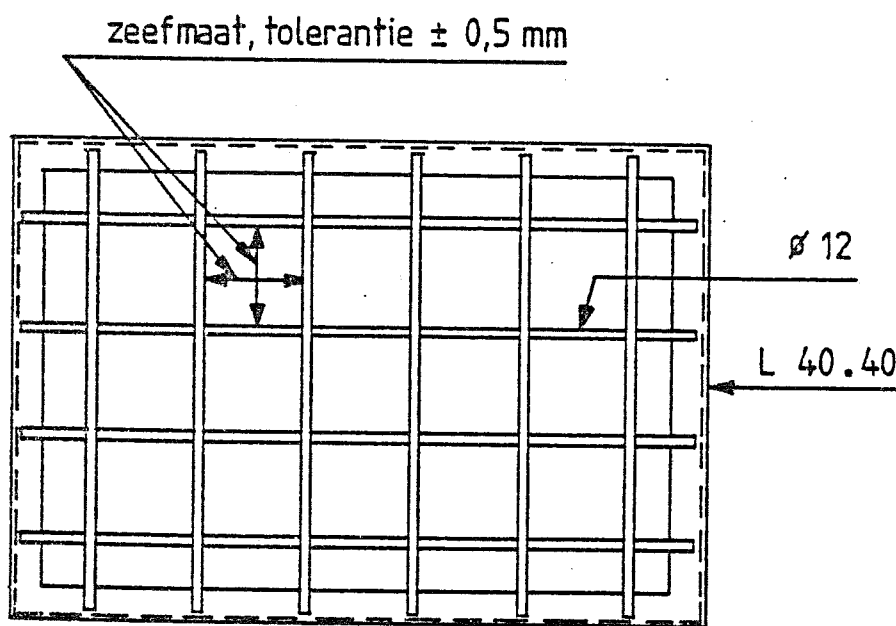
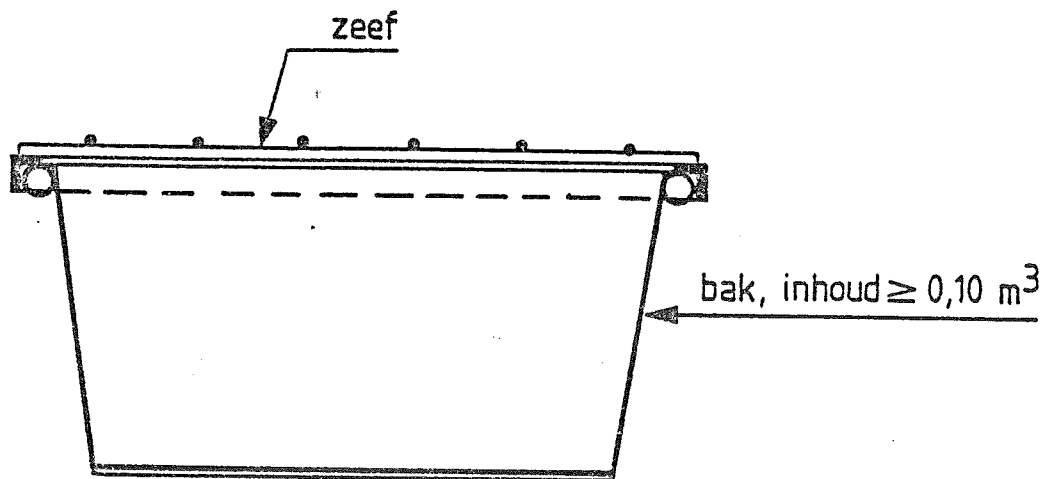


fig. 8 Zeef

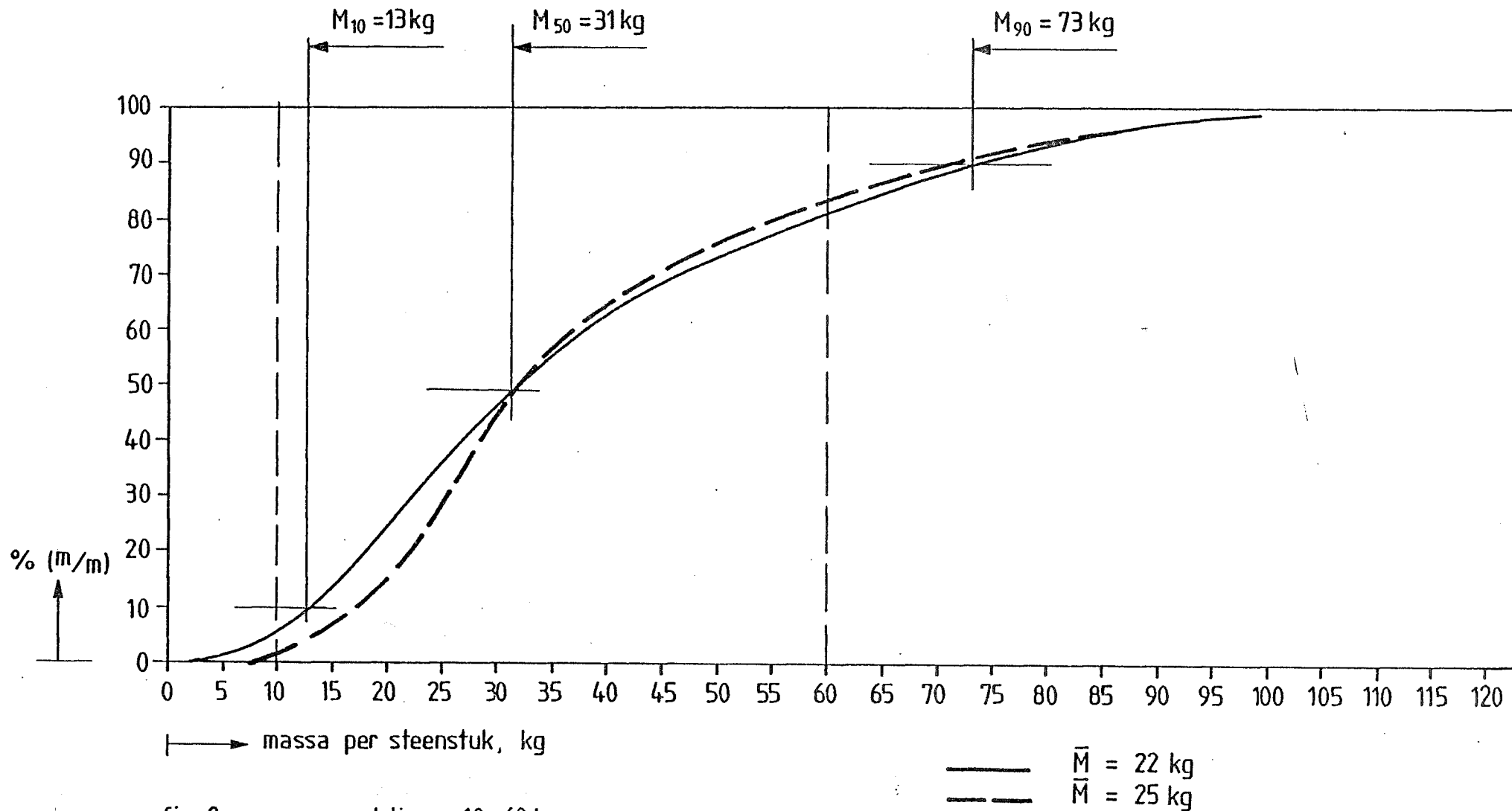


fig. 9 massaverdeling 10-60 kg

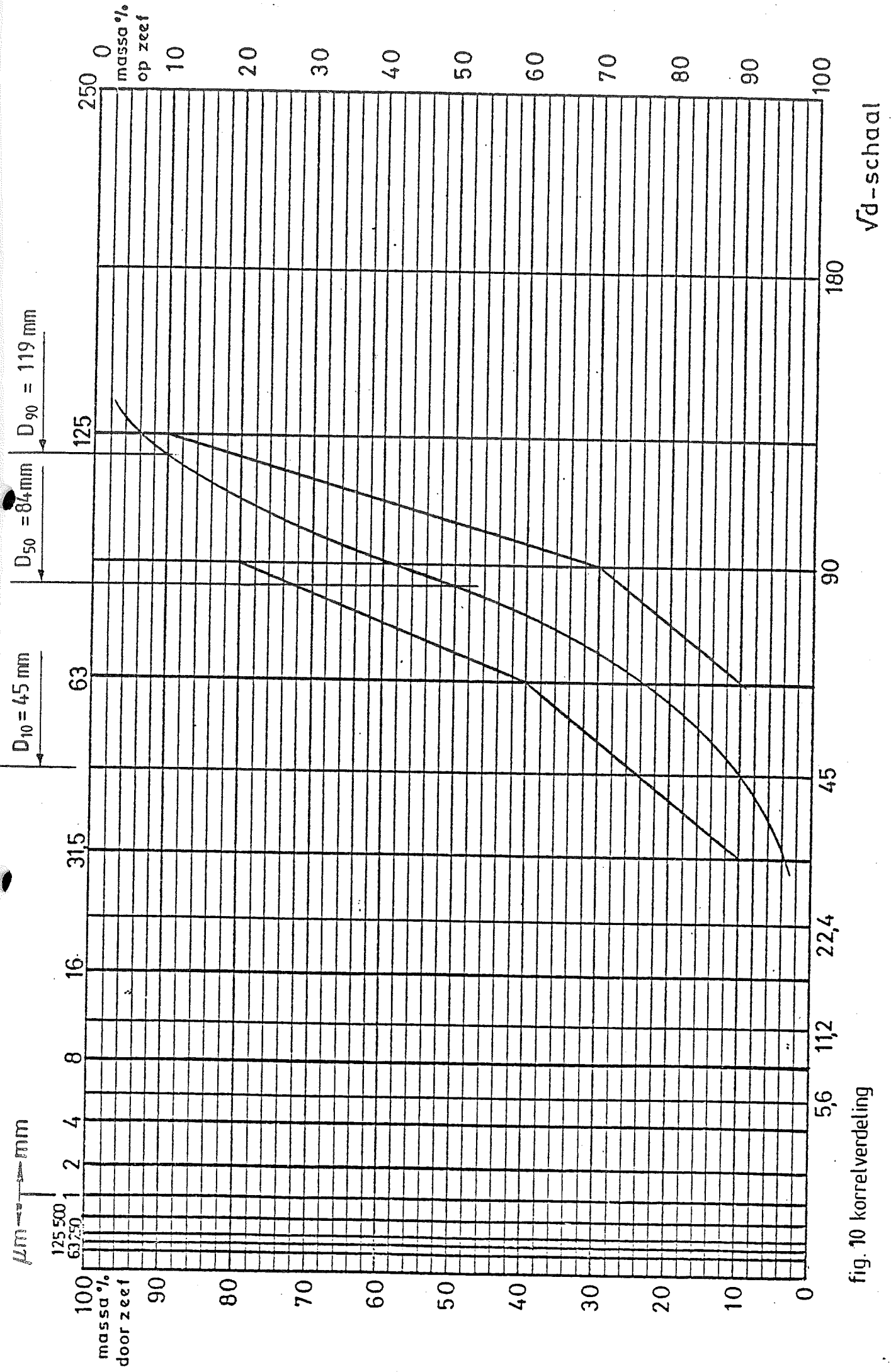
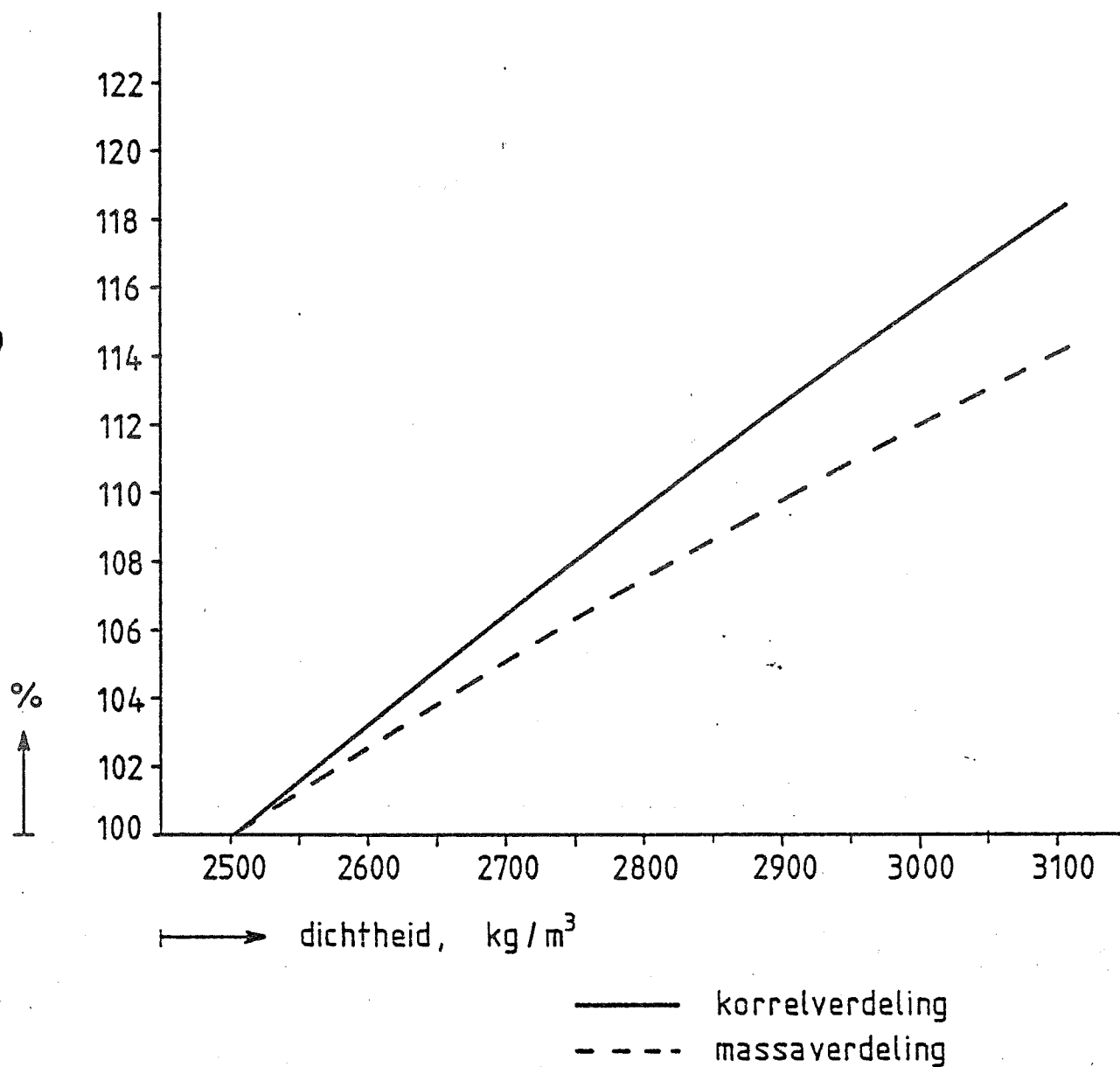
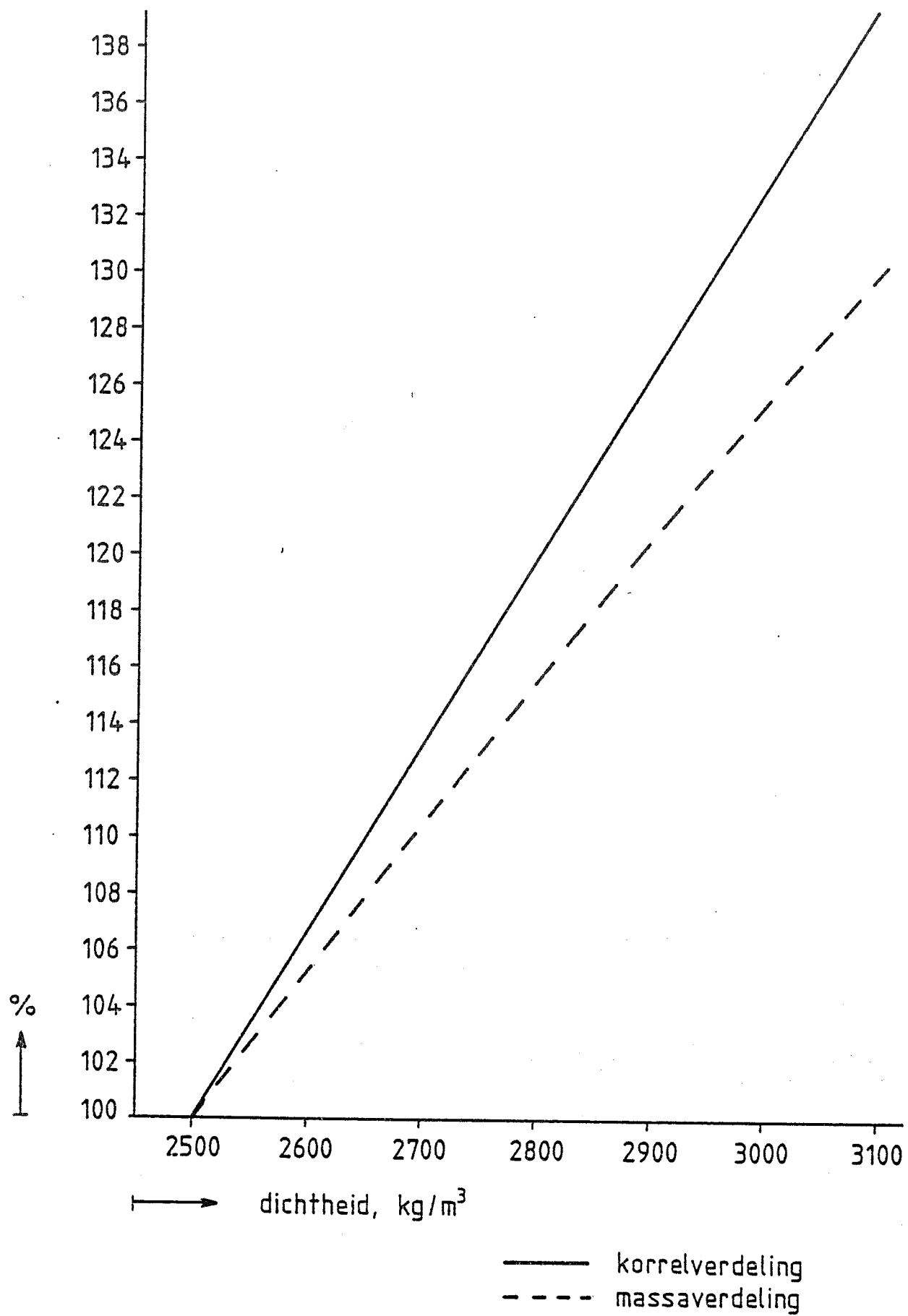


fig. 10 korrelverdeling



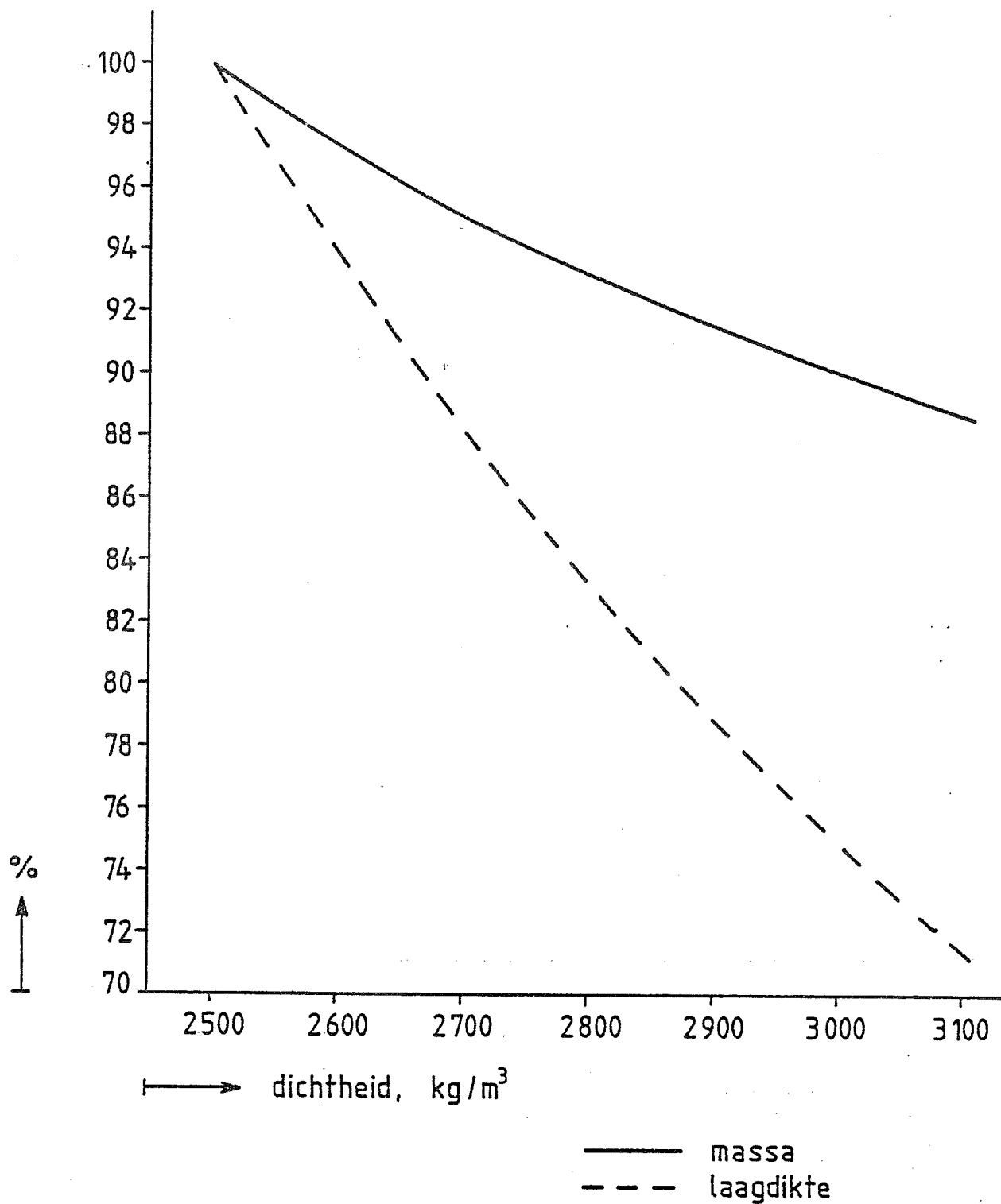
De weerstand tegen stroming afhankelijk van de dichtheid, in % van de weerstand bij $\rho_k = 2500 \text{ kg/m}^3$

figuur 11



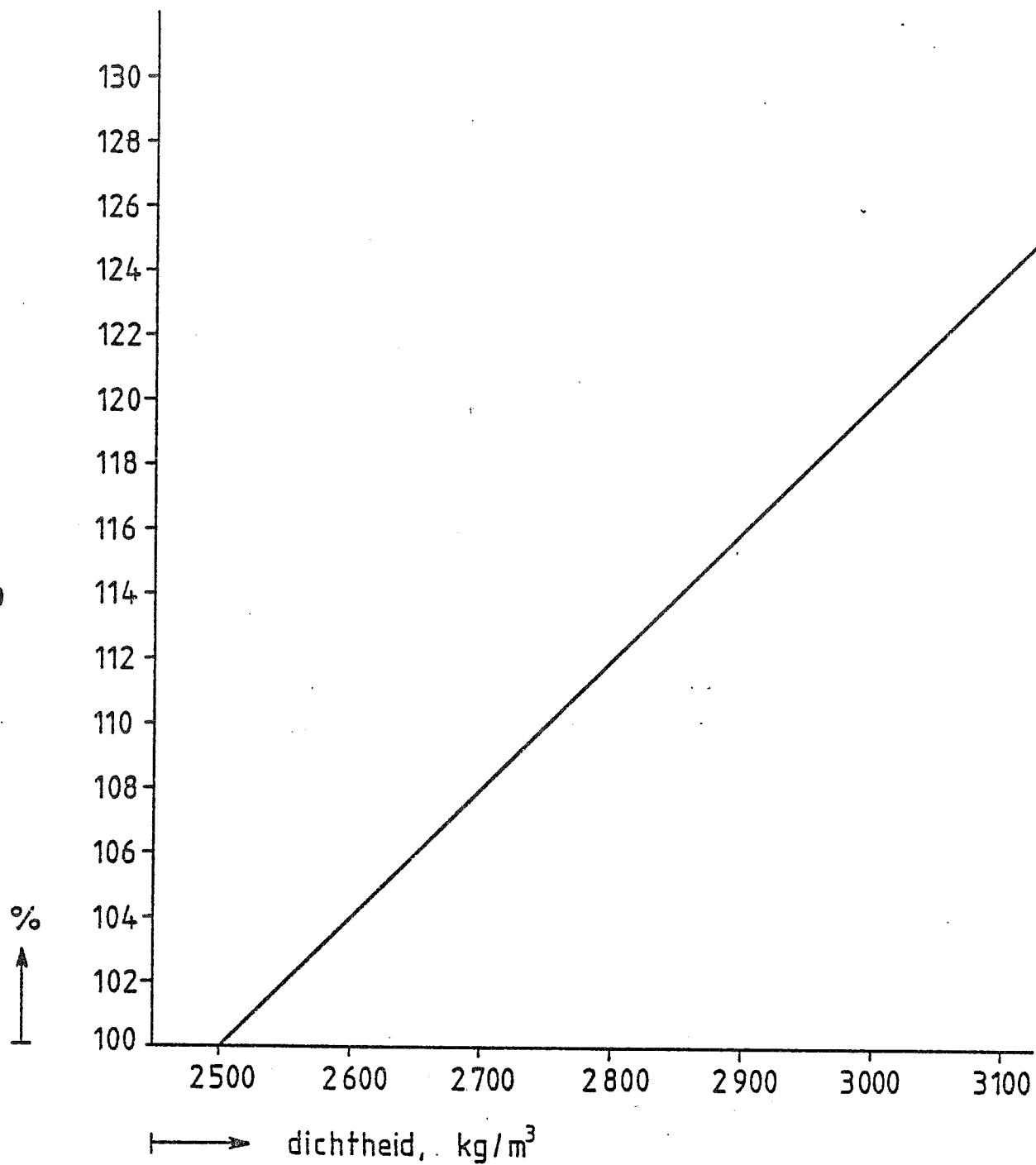
De weerstand tegen golfaanvallen afhankelijk van de dichtheid in % van de weerstand bij $\rho_k = 2500 \text{ kg/m}^3$

figuur 12



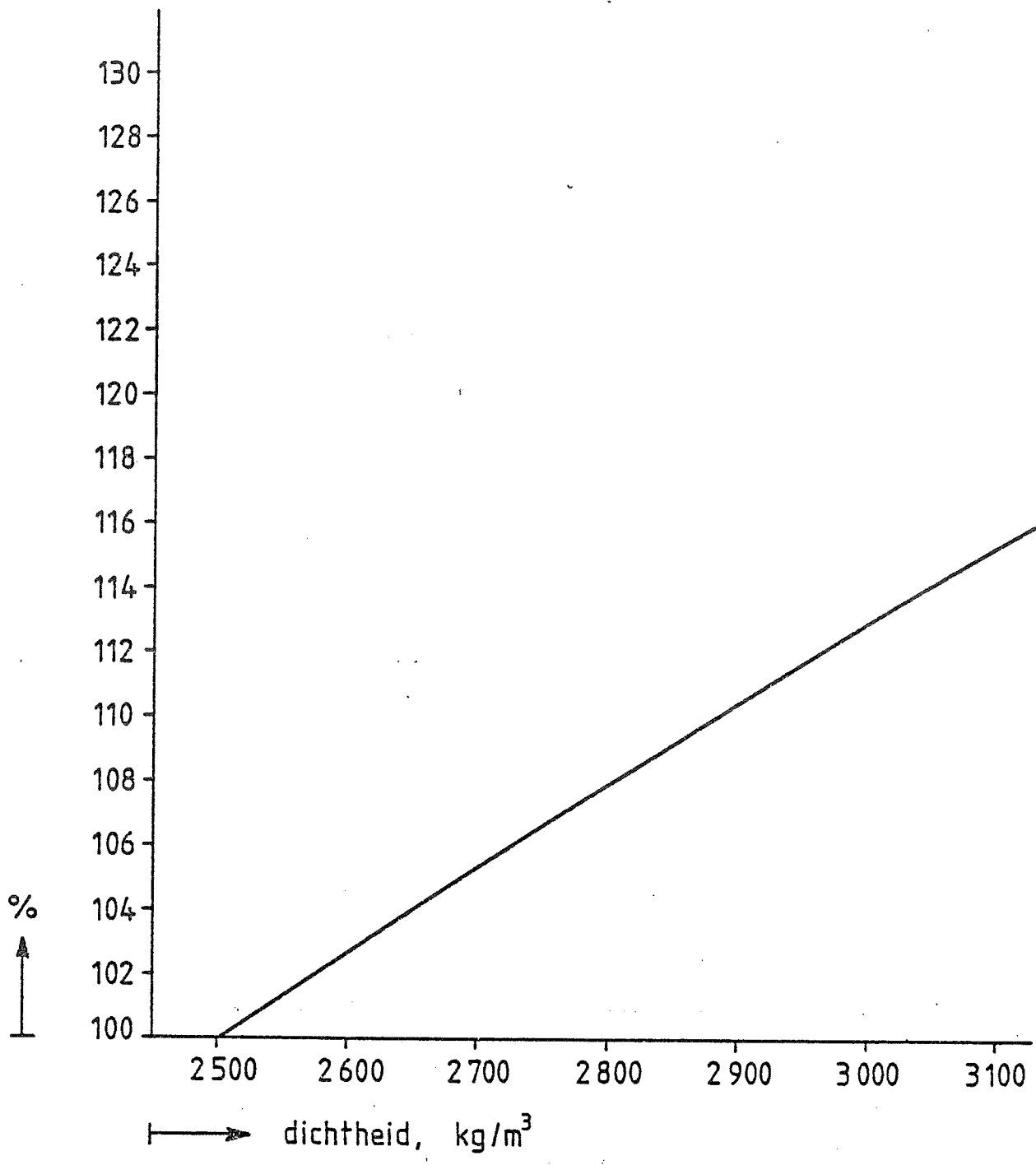
De hoeveelheid ballast afhankelijk van de dichtheid, in % van de bij $\rho_k = 2500 \text{ kg/m}^3$ benodigde hoeveelheid.

figuur 13



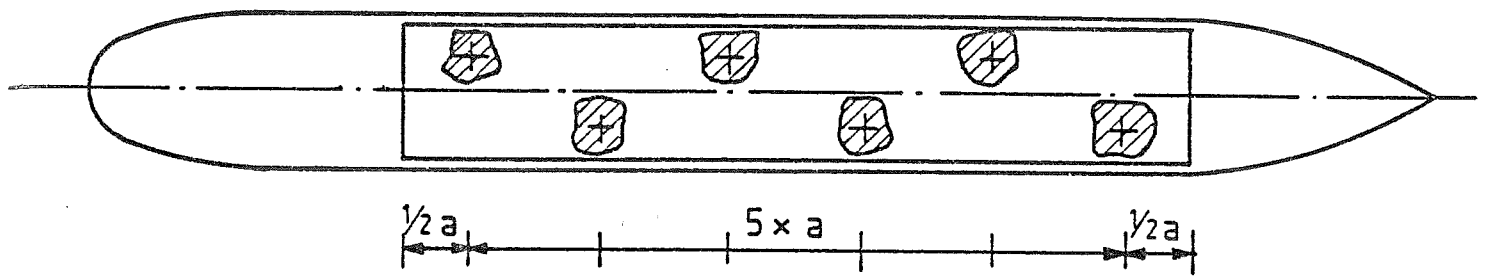
De hoeveelheid vulling afhankelijk van de dichtheid, in % van de bij $\varphi_k = 2500 \text{ kg/m}^3$ benodigde hoeveelheid

figuur 14



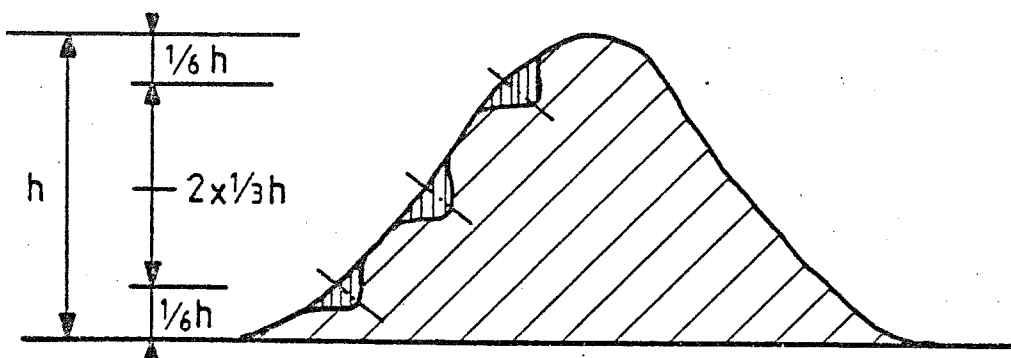
De hoeveelheid in een filterlaag afhankelijk van de dichtheid, in % van de bij $\rho_k = 2500 \text{ kg/m}^3$ benodigde hoeveelheid (lichte of zware sortering)

figuur 15



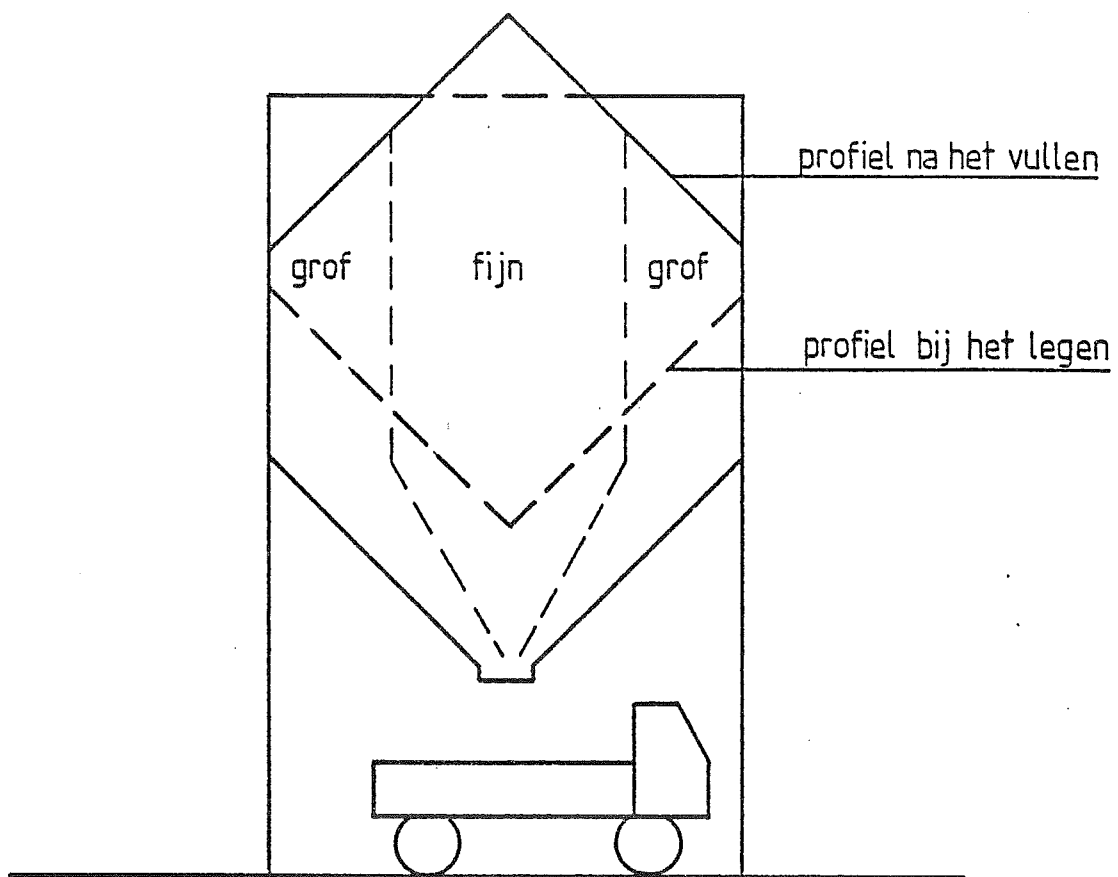
Bemonstering van een scheepslading

figuur 16



Bemonstering van een depot

figuur 17



figuur 18 Ontmenging in een silo.

WKE-R-82002

Kwaliteit en kwaliteitscontrole van breuksteen voor de waterbouw

V E R Z E N D L I J S T

11 november 1982

Rijkswaterstaat
Directie Benedenrivieren (VXB)
t.a.v. Ing. J.W. Eijdemans
Spuiboulevard 334-348
3311 GR Dordrecht

Rijkswaterstaat
Directie Noord-Holland (AN)
t.a.v. Ing. J. Schalkoort
De Wetstraat 1
1975 DM IJmuiden

Rijkswaterstaat
Directie Zuiderzeewerken (TXP)
t.a.v. Ing. C.A. van Veggel
Maerlant 1
8200 AA Lelystad

Rijkswaterstaat
Directie Zuiderzeewerken (WXB)
t.a.v. Ing. L. Voorberg
Domeinkantoor De Deel 23
8302 EK Emmeloord

Rijkswaterstaat
Directie Zuiderzeewerken (TXU)
t.a.v. de heer A.J. Klein de Groot
Maerlant 1
8200 AA Lelystad

Rijkswaterstaat
Directie Bovenrivieren (AV)
t.a.v. Ing. L. Jongman
Velperweg 19
6824 BC Arnhem

Rijkswaterstaat
Directie Friesland (ANT)
t.a.v. Ing. A.G. Witteveen
Postbus 2301
8901 JH Leeuwarden

Rijkswaterstaat
Directie Benedenrivieren (VX)
t.a.v. Ing. H. de Hullu
Stationsweg 61
3151 HR Hoek van Holland

Rijkswaterstaat
Directie Benedenrivieren (VX)
t.a.v. de heer J.G. Rombouts
Stationsweg 61
3151 HR Hoek van Holland

Rijkswaterstaat
Directie Zuid-Holland
t.a.v. Ing. A.J. Eggebeen
Postbus 144
3340 AC H.I.-Ambacht

Rijkswaterstaat
Hoofddirectie (N)
t.a.v. Ir. J. Bovenberg
Postbus 20906
2500 EX 's-Gravenhage

Rijkswaterstaat
Directie Noord-Brabant (TX0)
t.a.v. de heer L.J. Tiemersma
Postbus 90157
5200 MJ 's-Hertogenbosch

Rijkswaterstaat
Directie Noord-Brabant (TX)
t.a.v. Ir. G.J. van Eijk
Postbus 90157
5200 MJ 's-Hertogenbosch

Rijkswaterstaat
Directie Limburg (AN)
t.a.v. Ing. J.A. v.d. Velde
Postbus 25
6200 MA Maastricht

Rijkswaterstaat
Directie Limburg (WX)
t.a.v. de heer G.J.C. Frijns
Postbus 25
6200 MA Maastricht

Rijkswaterstaat
Directie Noord-Holland (TX)
t.a.v. Ing. A. Roos
Postbus 3119
2001 DC Haarlem

Rijkswaterstaat
Directie Bovenrivieren (AVB)
t.a.v. Ing. H.C. Hubregtse
Kleine Overstraat 42
7411 JM Deventer

Rijkswaterstaat
Hoofddirectie (A)
t.a.v. Ir. W. van der Kleij
Postbus 20906
2500 EX 's-Gravenhage

Rijkswaterstaat
Hoofddirectie (N)
t.a.v. Ir. R.P. Sybesma
Postbus 20906
2500 EX 's-Gravenhage

Rijkswaterstaat
Hoofddirectie (U)
t.a.v. Ir. E. van Marle
Postbus 20906
2500 EX 's-Gravenhage

Rijkswaterstaat
Bibliotheek Hoofddirectie
Postbus 20906
2500 EX 's-Gravenhage

Hoogheemraadschap
Noordhollands Noorderkwartier
t.a.v. de heer B. Zuidweg
Kennemerstraatweg 13
1814 GA Alkmaar

Gemeentewerken Rotterdam
Ingenieursbureau Havenwerken
t.a.v. Ir. R.G.J. van Orden
Galvanistraat 14
3002 AP Rotterdam

Gemeentewerken Rotterdam
t.a.v. de heer J. v.d.Bilt

Bloemhofplein 17

3214 AA Zuidland

Waterschap Fryslân
t.a.v. Ing. L.A. Philipse

Noorderhaven 47

8861 AK Harlingen

Vos Arnhem B.V.
t.a.v. de heer W.J. Kuypers
Onderlangs 1
6812 CE Arnhem

Basalt N.V.
t.a.v. de heer J.A. Bossinga
Burgemeester Knappertlaan 138
3117 BE Schiedam

V.P.I.
t.a.v. de heer G. van Leeuwen
Postbus 30043
3001 DA Rotterdam

KIWA
t.a.v. Ing. J.A. van Zutphen
Postbus 70
2280 AB Rijswijk-ZH

Firma Rook
t.a.v. de heer B. de Groot
IJsseldijk 351
2922 BK Krimpen aan de IJssel

Adviesbureau Kragten
t.a.v. de heer Everts
Schoolstraat 8
6049 BN Herten

Dosbouw v.o.f.
t.a.v. Ing. D. von Eugen
Postbus 5003
4328 ZV Burgh-Haamstede

Dosbouw v.o.f.
t.a.v. de heer G. Dubbeldam
Postbus 5003
4328 ZV Burgh-Haamstede

Technische Hogeschool
Centrale Bibliotheek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Technische Hogeschool
Afdeling Weg- en Waterbouwkunde
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Technische Hogeschool
Vakgroep Weg- en Waterbouwkunde
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Ir. F. Spaargaren
Oosterscheldelaan 19
4328 EX Burgh-Haamstede

Ir. M.J. Loschacoff
Heereweg 28
4317 AK Noordgouwe

Ir. A. Hoekstra
Kloosterweg 53
4317 NG Noordgouwe