



handboek uitvoering
bodemverdedigingsconstructies
van losgestorte
granulaire materialen



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat

HANDBOEK UITVOERING BODEMVERDEDIGINGSCONSTRUCTIES
VAN LOS GESTORTE GRANULAIRE MATERIALEN

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraal Generaal van Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat

Utrecht, juni 1991

Uitgave

Dit boek is uitgegeven door:

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Hoofdafdeling Waterbouw
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht
Telefoon: 030-852654

Rijkswaterstaat en degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publikatie vervatte gegevens. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat zich toch onjuistheden of onduidelijkheden in deze publikatie kunnen bevinden. Degene die van deze publikatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico.

Rijkswaterstaat sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Indien u fouten of onduidelijkheden aan mocht treffen, stellen wij het zeer op prijs deze aan ons door te geven, zodat deze in een eventuele volgende uitgave verwerkt kunnen worden.

Copyright: Bouwdienst Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling Waterbouw.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de samensteller.

INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 1

ALGEMENE INLEIDING	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doelstelling	9
1.3 Beperkingen van het handboek	10
1.4 Opzet van het handboek	11
1.5 Verslaglegging	12
1.6 Kwaliteitstoets	13

HOOFDSTUK 2

TOEPASSINGSGEBIED EN CONSTRUCTIETYPEN	14
2.1 Toepassingsgebieden	14
2.2 Constructie-typen	14
2.3 Voorkeursvariant.	16

HOOFDSTUK 3

BESTORTINGSMATERIALEN	18
3.1 Inleiding	18
3.2 Herkomst en soortelijke massa	18
3.2.1 <u>Breuksteen</u>	18
3.2.2 <u>Mijnsteen</u>	19
3.2.3 <u>Fosforslak</u>	19
3.2.4 <u>Staalslak</u>	19
3.2.5 <u>Grind-en grindzand</u>	19
3.3 Sorteringen	19
3.3.1 <u>Algemeen</u>	19
3.3.2 <u>Breuksteen</u>	20
3.3.3 <u>Mijnsteen</u>	21
3.3.4 <u>Fosforslak</u>	21
3.3.5 <u>Staalslak</u>	21
3.3.6 <u>Grind- en grindzand</u>	21
3.4 Milieuhygienische aspecten	21
3.4.1 <u>Algemeen</u>	21
3.4.2 <u>Breuksteen, grind- grindzand en staalslak</u>	22
3.4.3 <u>Mijnsteen</u>	22
3.4.4 <u>Fosforslak</u>	22
3.5 sterkte en duurzaamheid.	22

HOOFDSTUK 4

ONTWERPASPEKTEN	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Funkties en aan de constructie te stellen eisen	23
4.2.1 <u>Funktie-analyse</u>	23
4.2.2 <u>Inspectie-, onderhouds- en hersteleisen</u>	25
4.2.3 <u>Uitvoeringstechnische eisen</u>	26
4.3 Randvoorwaarden, belastingen	27
4.4 Ontwerpfilosofie en -methodiek	27
4.5 Faalmechanismen bodemverdediging	30
4.5.1 <u>Inleiding</u>	30
4.5.2 <u>Instabiliteit toplaag</u>	30
4.5.3 <u>Interne instabiliteit filterlaag</u>	31
4.5.4 <u>Grensvlakinstabiliteit filterlaag</u>	31
4.5.5 <u>Onvoldoende waterdoorlatendheid</u>	31
4.5.6 <u>Instabiliteit ontgrondingskuil</u>	31
4.5.7 <u>Overige faalmechanismen</u>	32
4.5.8 <u>Gevolgen falen bodemverdediging</u>	32
4.6 Ontwerpeisen	33
4.6.1 <u>Inleiding</u>	33
4.6.2.1 <u>Materiaaleisen</u>	33
4.6.2.2 <u>Laagdikteeis</u>	35
4.6.3 <u>Ontwerpeisen filterlaag</u>	35
4.6.3.1 <u>Algemeen</u>	35
4.6.3.2 <u>Materiaaleisen</u>	36
4.6.3.3 <u>Laagdikteeis</u>	38
4.6.4 <u>Ontwerpeis lengte bodemverdediging</u>	38
4.6.5 <u>Duurzaamheid- en sterkteeis van het materiaal</u>	40
4.7 Relatie tussen ontwerpeisen en de uitvoering	40
4.7.1 <u>Inleiding</u>	40
4.7.2 <u>Dichtheid van het materiaal</u>	41
4.7.3 <u>Diameter en gradering van het materiaal</u>	41
4.7.4 <u>Laagdikte</u>	41
4.7.5 <u>Sterkte van de materialen</u>	42
4.7.6 <u>Ontmenging tijdens het storten</u>	42

HOOFDSTUK 5

STORTMATERIEEL EN PLAATSBEPALING	45
5.1 Stortmaterieel	45
5.1.1 <u>Algemeen</u>	45
5.1.2 <u>Overzicht verschillende principes</u>	45
5.1.3 <u>Positioneer- en verhaalmethoden</u>	50
5.2 Plaatsbepaling stortschip	51
5.2.1 <u>Inleiding</u>	51
5.2.2 <u>Toepassingsmogelijkheden optisch, radiografisch systeem</u>	51
5.2.3 <u>Bepaling meetnauwkeurigheid</u>	51

HOOFDSTUK 6

BESCHRIJVING EN ANALYSE VAN HET STORTPROCES	54
6.1 Inleiding	54
6.2 Fasen in het stortproces	54
6.2.1 <u>Positie van het stortschip (I)</u>	55
6.2.2 <u>Het bresgedrag van het stortmateriaal in de tijd (II)</u>	55
6.2.3 <u>Verplaatsing van het materiaal boven en onder water (III)</u>	60
6.2.4 <u>Spreiding van materiaal ten gevolge van bodemcontact (IV)</u>	69
6.3 Samenvatting stortproces met de van invloed zijnde parameters	69

HOOFDSTUK 7

STORINGSANALYSE STORTPROCES	71
7.1 Inleiding	71
7.2 Ongewenste gebeurtenissen	71
7.3 Uitwerking storingsanalyse.	77

HOOFDSTUK 8

SCHEMATISATIE PROCESFASEN IN "STORTSIM"	84
8.1 Inleiding	84
8.2 Modellerings positie van het stortmiddel	84
8.3 Modellerings bresgedrag stortmateriaal	85
8.4 Modellerings verplaatsing en spreiding van materiaal	86
8.5 Modellerings spreiding materiaal bij bodemcontact	87

HOOFDSTUK 9

STORTMETHODEN	88
9.1 Inleiding	88
9.2 Het al of niet verhalend storten	88
9.3 Klappend, strooiend storten.	91
9.4 Het aantal verhaalslagen (stortgangen) waarmee de laagdikte wordt opgebouwd.	92
9.5 Eénzijdig, tweezijdig storten.	94
9.6 Samenvatting	95

HOOFDSTUK 10

DE STELLEN EISEN AAN HET STORTPROCES	99
10.1 Inleiding.	99
10.2 Programma van eisen	100
10.2.1 <u>Belading van het stortschip</u>	100
10.2.2 <u>Stortmaterieel</u>	100
10.2.2.1 Nauwkeurigheid plaatsbepalings- systeem.	100
10.2.2.2 Manoeuvrerbaarheid stortschip.	100
10.2.2.3 Afstemming verhaalsnelheid op schuif- snelheid c.q.beunopeningsgrootte.	101
10.2.2.4 Eénzijdig, tweezijdig storten	101
10.2.3 <u>Stortmethodiek</u>	101
10.2.3.1 Aantal stortgangen (verhaalslagen)	101
10.2.3.2 Plaats van optreden begin- en eind onregelmatigheid bresgedrag	102
10.2.3.3 Positie stortschip t.o.v de stroom- richting.	103
10.2.3.4 Positioneercorrectie stortschip als gevolg van stroomsnelheid en -richting alsmede de middenstands- verschuiving (afzet)	103
10.2.3.5 Strooiend storten.	104
10.2.3.6 Dakpansgewijs of halfsteensverband storten	104
10.2.3.7 Volgorde stortgangen (verhaalsla- gen)	105
10.2.4 <u>Omgevingcondities</u>	106
10.2.4.1 Stroombegrenzing	106
10.2.4.2 Windsnelheid en golfhoogte	106
10.2.4.3 Obstakels	106
10.2.4.4 Waterdiepte	107

HOOFDSTUK 11

KWALITEITSBEHEERSING STORTPROCES	108
11.1 Inleiding	108
11.2 Principe kwaliteitsbeheersing	108
11.3 Kwaliteitsbeheersingsactiviteiten stortproces	109
11.3.1 <u>Q-flow Plan stortproces</u>	109
11.3.2 <u>Keuring stortmateriaal (blok 1)</u>	109
11.3.2.1 Algemeen	109
11.3.2.2 De dichtheid en sterkte van het materiaal	111
11.3.2.3 De massa- en korrelverdeling van het materiaal	111
11.3.2.4 Keuringsprocedure	112
11.3.3 <u>Vorbereiding storten (blok 2)</u>	114
11.3.4 <u>Uitvoering bestorting (blok 3)</u>	114
11.3.5 <u>Analyse stortgegevens (blok 4, 5 en 6)</u>	115
11.3.6 <u>Reparatie/herstel (blok 7)</u>	115

11.3.7 <u>Organisatie en motivatie</u>	116
11.4 <u>De voordelen van kwaliteitsbeheersing</u>	116
HOOFDSTUK 12	
INSPECTIEMIDDELEN	118
12.1 <u>Inleiding</u>	118
12.2 <u>Dieptemeting</u>	118
12.3 <u>Sonarmeting</u>	123
12.4 <u>Duikinspectie</u>	125
12.5 <u>Simulatiemodel "Stortsim"</u>	126
HOOFDSTUK 13	
KWALITEITSPLAN	127
13.1 <u>Inleiding</u>	127
13.2 <u>Bijzonder proces</u>	127
13.3 <u>Inhoud (deel)kwaliteitsplan</u>	127
HOOFDSTUK 14	
UITVOERINGS- EN KEURINGSPLAN	129
14.1 <u>Inleiding</u>	129
14.2 <u>Inhoud uitvoeringsplan</u>	129
14.3 <u>Inhoud keuringsplan</u>	129
HOOFDSTUK 15	
KWALITEITSKOSTEN	131
15.1 <u>Inleiding</u>	131
15.2 <u>Indeling van kwaliteitskosten</u>	131
15.3 <u>Kwaliteitskostenbenadering</u>	133
15.4 <u>Kostenoptimalisatie</u>	133
15.5 <u>Voorbeeld kwaliteitskosten Stormvloedkering Oosterschelde</u>	137
15.5.1 <u>Inleiding</u>	137
15.5.2 <u>Specifieke verschillen tussen beide uitvoeringsmethoden</u>	137
15.5.3 <u>Kostenvergelijking slijtbak en zijstorter</u>	138
HOOFDSTUK 16	
CASE, VERGELIJKING STORMMETHODEN MET "STORTSIM"	140
16.1 <u>Inleiding</u>	140
16.2 <u>Specificaties en uitgangspunten uitgevoerde simulaties</u>	140

16.2.1	<u>Stortvelden</u>	. . . . .	140
16.2.2	<u>Stortmateriaal</u>	. . . . .	143
16.2.3	<u>Omgeving</u>	. . . . .	143
16.2.4	<u>Stortschip</u>	. . . . .	143
16.2.5	<u>Stortstrategie</u>	. . . . .	143
16.3	Resultaat uitgevoerde simulaties	. . . . .	145
16.4	Conclusie	. . . . .	146
Literatuur	. . . . .	. . . . .	148
Bijlage 1	. . . . .	. . . . .	149
Bijlage 2	. . . . .	. . . . .	150
Bijlage 3	. . . . .	. . . . .	151
Bijlage 4	. . . . .	. . . . .	152
Bijlage 5	. . . . .	. . . . .	153
Bijlage 6	. . . . .	. . . . .	154
Bijlage 7	. . . . .	. . . . .	156
Bijlage 8	. . . . .	. . . . .	157
Bijlage 9	. . . . .	. . . . .	158
Bijlage 10	. . . . .	. . . . .	159

HOOFDSTUK 1

ALGEMENE INLEIDING

1.1 Aanleiding

Bodem- en oeververdedigingswerken vormen vaak een belangrijk onderdeel van waterbouwkundige constructies.

Deze bodem- en oeververdedigingsconstructies worden veelal opgebouwd uit relatief "dunne" lagen granulair materiaal. De uitvoering hiervan geschiedt hoofdzakelijk met behulp van stortschepen, die hun lading stortmateriaal storten vanaf de waterlijn, om zodoende een zekere laagdikte over een gewenst oppervlak op te bouwen.

De kwaliteitscontrole van dit veelal ambachtelijke werk richt zich met name op het achteraf meten en controleren van het gemaakte werk (eindprodukt) en in mindere mate op het meten en controleren van het stortproces zelf.

Het achteraf meten van de laagdikte van de aangebrachte bestorting gebeurt veelal door het stortgebied vóór en ná de uitgevoerde bestorting te peilen. Het verschil tussen deze twee peilingen zou dan de gerealiseerde laagdikte moeten zijn.

In verband met de onnauwkeurigheden in beide peilslagen is het meten van de laagdikte op deze manier niet mogelijk en gaat de uitdrukking "meten is weten" voor onderwatermetingen niet zonder meer op. Aanvullende informatie is nodig, hetzij over het stortproces, hetzij via (visuele) onderwaterinspecties. Uiteraard kan de minimum vereiste laagdikte ook gegarandeerd worden door een grotere laagdikte toe te passen, maar om te weten hoeveel extra materiaal benodigd is, is inzicht in het stortproces van belang. De ontwerper en de uitvoerder dienen zich steeds te realiseren dat, wanneer er met een bepaalde graad van zekerheid een minimum laagdikte wordt geëist, deze zekerheid in vele gevallen niet door een eindcontrole gegarandeerd kan worden.

Met andere woorden; het tot stand komen van de vereiste kwaliteit van het eindprodukt wordt hierbij onvoldoende beheerst.

Dit kan leiden tot onzekerheid over de kwaliteit van het eindprodukt en dientengevolge tot hetzij schade, hetzij hoge inspectiekosten.

Bij de bouw van de Oosterscheldekering is veel ervaring opgedaan en inzicht verkregen in het stortproces. De grote omvang van deze werkzaamheden maakte het noodzakelijk het stortproces te optimaliseren om met een minimum aan materiaal, de gewenste laagdikte te realiseren. De hierbij opgedane ervaring en kennis omtrent bestortingsmethodieken, alsmede de systematische aanpak van de kwaliteitsbeheersing van het stortproces, is voor de Hoofdafdeling Waterbouw aanleiding geweest om deze ervaringen vast te moeten leggen in de vorm van een handboek.

1.2 Doelstelling

De achtergrond van het handboek wordt enerzijds gevormd door de ervaring dat de kwaliteit van een ontworpen bestorting moeilijk vast te stellen is door meting en keuring van het eindprodukt, en anderzijds door het feit, dat bij een voortdurende meting en

controle van het stortproces, het eindprodukt een zo groot mogelijke kans heeft te voldoen aan de eisen als het procesverloop en de input in orde zijn.

De doelstelling van het handboek is het vastleggen van deze opgedane ervaring met verschillende bestortingsmethodieken, zoals die bij de bouw van de Oosterscheldewerken zijn verkregen. Deze ervaring kan worden onderverdeeld in een viertal aspecten, te weten:

- * inzicht in het stortproces met de hierop van invloed zijnde stortparameters, die relevant zijn voor de kwaliteit van het eindprodukt.
- * inzicht in en ervaring met de werking en gebruik van een zijstorter en splijtbak en de hiermee te bereiken kwaliteit.
- * de efficiëncy van het gebruik van meetmiddelen, zoals werkpeilingen, sonar en duikermetingen, bedoeld als beoordelingsmiddel van de gerealiseerde bestorting.
- * het aantonen van de noodzaak tot het stellen van eisen aan de uitvoering, en op basis hiervan het opzetten van een kwaliteits- uitvoerings- en keuringsplan om zodoende een beheerst stortproces te bewerkstelligen.

Als zodoende beoogt dit boek de relatie te leggen tussen het ontwerp van de bestortingsconstructie, de uitvoeringsmethodiek en de kwaliteitsbeheersing.

Het boek is bedoeld voor degenen die betrokken zijn bij het ontwerp, de werkvoorbereiding, de uitvoering en het beheer en onderhoud van bestortingsconstructies.

Tevens kan vermeld worden dat in het kader van dit handboek een computermodel ontwikkeld is. Met dit mathematische model genaamd "STORTSIM" is het mogelijk het uitvoeren van een bestorting te simuleren. Hierbij is de invoer van de procesparameters instelbaar en kan de uitvoer (het stortresultaat) getoetst worden aan de gestelde ontwerpspecificaties. Het programma kan derhalve zowel voorspellend (ontwerp, werkvoorbereiding) als controlerend (uitvoering) gebruikt worden.

Degenen, die naast dit handboek gebruik willen maken van dit simulatieprogramma, kunnen zich in verbinding stellen met de Hoofdafdeling Waterbouw van de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

1.3 Beperkingen van het handboek

Het handboek kent de volgende beperkingen:

1. Het is beslist niet bedoeld als wetenschappelijk werk, waarin de theoretische grondslagen uitputtend worden behandeld. Er is zoveel mogelijk naar gestreefd praktische aanbevelingen te doen, waarmee tot een verantwoorde uitvoering kan worden gekomen.
2. Het is samengesteld vanuit de ervaringen bij de bouw van de Oosterscheldekering, waarbij optimalisatie tussen uitvoeringsmethodiek en kwaliteitscontrole significante kostenbesparingen tot gevolg hadden. Iedere bestorting rechtvaardigt die mate van inspanning.

3. De beschrijving van het stortproces, de verschillende stortmethoden en de hiervan afgeleide stortstrategieën en procesbeheersingsactiviteiten gelden voor een splijtbak en een zijstorter.
4. Het in het kader van dit handboek uitgevoerde aanvullend fysisch modelonderzoek naar het spreidingsgedrag van rond en hoekig stortmateriaal, geldt voor een waterdiepte van 10 tot 60 meter.
5. De beperkingen van het simulatiemodel "STORTSIM" worden expliciet genoemd in het betreffende hoofdstuk. Het model is geijkt op een tiental stortproeven, uitgevoerd in een fysisch schaalmodel, terwijl de schematisatie van het bresgedrag gecontroleerd en afgeregeld is op een aantal prototype-storten, uitgevoerd in het kader van de onderhoudsbestortingen van de stormvloedkering Oosterschelde.
6. Het is geen handboek voor het ontwerpen van een bestorting of voor het bepalen van een peil- en inspectiemethode.

Tenslotte:

Het onderkennen van het "uitvoeringsprobleem" is pas echt mogelijk als zeer nauw wordt samengewerkt tussen ontwerper, uitvoerder en surveyer in alle fasen van de realisatie. Als het boek deze nauwe samenwerking stimuleert, beantwoordt het voor een belangrijk deel aan zijn doel.

1.4 Opzet van het handboek

Na het inleidende hoofdstuk 1, wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de verschillende in aanmerking komende constructie-typen en hun toepassingsgebieden, gezien in het licht van dit handboek.

In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van de in aanmerking komende granulaire materialen, hierbij wordt specifiek ingegaan op de kenmerkende eigenschappen en de milieuhygiënische aspecten.

In hoofdstuk 4 worden enkele ontwerpaspecten beschreven die van direct belang zijn voor de uitvoering. Het gaat hierbij om een beschrijving van de functies van een bodemverdedigingsconstructie en de hiervan afgeleide functionele eisen, de ontwerpfilosofie en -methodiek, de faalmechanismen en de hiervan afgeleide ontwerp-eisen. Als laatste vindt de vertaling plaats van de ontwerp-eisen naar uitvoeringstechnische eisen.

In hoofdstuk 5 wordt een beschrijving gegeven van het materieel waarmee de bestortingen kunnen worden aangebracht. Eveneens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van de verschillende in aanmerking komende plaatsbepalingssystemen.

In hoofdstuk 6 wordt een uitvoerige beschrijving gegeven van de verschillende fasen van het stortproces en de hierop van invloed zijnde stortparameters.

In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de ongewenste gebeurtenissen, die zich in het stortproces voor kunnen doen. Deze nadelige effecten worden vervolgens geanalyseerd naar fase, oorzaak, afhankelijkheid en de te nemen maatregelen hiertegen en de te treffen voorzieningen.

Hoofdstuk 8 behandelt de modellering van de in hoofdstuk 6 genoemde procesfasen, zoals die zijn geschematiseerd in het speciaal voor dit doel ontwikkelde computerprogramma "STORTSIM".

Hoofdstuk 9 gaat in op de verschillende in aanmerking komende stortmethodieken, zoals die toegepast kunnen worden bij het gebruik van een zijstorter en een splijtbak.

In hoofdstuk 10 wordt, op basis van de in hoofdstuk 6, 7 en 9 geanalyseerde kwaliteitsparameters van het stortproces, een vertaling gemaakt naar de kwalitatief te stellen eisen aan het stortproces, om zodoende een beheerst proces te kunnen bewerkstelligen.

In hoofdstuk 11 komt de kwaliteitsbeheersing van het stortproces aan de orde. Hierbij worden achtereenvolgens behandeld; het principe van kwaliteitsbeheersing, de beheersingsactiviteiten en de voordelen van een dergelijke aanpak.

Hoofdstuk 12 behandelt de voor de bestortingsdoeleinden in aanmerking komende inspectiemiddelen, te weten: dieptemeting, sonarmeting en duikerinspectie. Er wordt eveneens globaal ingegaan op de toepasbaarheid van het simulatiemodel "STORTSIM" als beoordelingsmiddel van de gerealiseerde kwaliteit van het eindprodukt bestorting.

Hoofdstuk 13 en 14 gaan in op de richtlijnen, bedoeld voor het opstellen van een kwaliteits-, uitvoerings- en keuringsplan.

Hoofdstuk 15 handelt over de kwaliteitskosten en de te bereiken kostenoptimalisatie. Als praktijkvoorbeeld wordt hier een vergelijking gemaakt tussen de kwaliteitskosten van een tweetal systemen, zoals die ervaren zijn bij de bestortingswerkzaamheden van de Stormvloedkering Oosterschelde.

In hoofdstuk 16 tenslotte worden met behulp van "STORTSIM," de in hoofdstuk 9 geanalyseerde stortmethoden met elkaar vergeleken op de te storten hoeveelheid materiaal als functie van de gerealiseerde laagdikte.

1.5 Verslaglegging

Het onderhavige handboek is in opdracht van de staf van de Hoofdafdeling Waterbouw van de Bouwdienst Rijkswaterstaat geschreven en samengesteld door de voor dit doel benoemde projectleider D.P. de Wilde. Bij het samenstellen van het handboek is voor de hieronder genoemde specifieke onderdelen, dankbaar gebruik gemaakt van de adviezen en bijdragen van onderstaande medewerkers van de Hoofdafdeling Waterbouw. In het bijzonder noem ik hier de waardevolle adviezen en redactionele

bijdrage van de heer C.W. Schippers, oud projectleider natte uitvoeringswerken Stormvloedkering Oosterschelde.

Materialen	:	ing. C.W. Schippers, ing. J.M. van Westen.
Ontwerpsecten	:	ir. J.L.M. Konter.
Uitvoeringsaspecten	:	ir. J.L.M. Konter, ing. C.W. Schippers, ing. F.J. Niezen, ing. W.F. Geuze.
Storingsanalyse	:	ir. M van der Doef, ing. G. de Jong.
Simulatiemodel "Stortsim	:	ir. M. van der Doef.
Kwaliteitsbeheersing	:	ir. A.J.G.M. van Roermund, ing. C.W. Schippers, ing. G. de Jong.

1.6 Kwaliteitstoets

De inhoud van het handboek, concept augustus 1990, is naast de bovengenoemde personen van de Hoofdafdeling Waterbouw van Bouwdienst Rijkswaterstaat, kwalitatief getoetst door de onderstaande medewerkers van de op dit gebied vooraanstaande bedrijven en instanties. Het geleverde commentaar en de gedane suggesties, voortkomend uit deze kwaliteitstoets, zijn zoveel mogelijk verwerkt en opgenomen in het voor u liggende definitieve exemplaar van het handboek.

- ACZ Marine Contractors	:	ir. C.J. Stam
- Zinkcon	:	ir. W.H. Tutuarima
- Hollandsche Beton Groep	:	ir. H.A.J. de Ridder
- Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst"	:	ing. F.J. de Groot
- Rijkswaterstaat directie Zeeland	:	dhr. J.C. van der Maas
- Bouwdienst Rijkswaterstaat	:	ing. J. van der Meulen
- Ingenieursbureau D.H.V.	:	ir. F. Heezen

HOOFDSTUK 2

TOEPASSINGSGEBIED EN CONSTRUCTIETYPEN

2.1 Toepassingsgebieden

In het algemeen worden "dunne" lagen losgestort granulaair materiaal, al of niet in combinatie met een geotextiel, toegepast in constructies die de bodem moeten beschermen tegen de eroderende werking van stroom-, verval- en/of golfbelasting. Als belangrijkste toepassingen kunnen worden genoemd:

- * Verdedigingsconstructies van bodem en oevers in rivieren en zeearmen en bij afsluitingswerken.
- * Verdedigingsconstructies van de bodem bij waterdoorvoerende constructies, zoals sluizen en stuwen.
- * Beschermconstructies van onderwater-pijpleidingen, tunnels en zinkerleidingen.
- * Funderingsconstructies onder en naast waterbouwkundige kunstwerken, zoals sluizen en stuwen.

De hoofdfunctie van de hier bedoelde verdedigingsconstructies is; het zodanig vasthouden van de bodem ter plaatse en in de directe omgeving van een kunstwerk, dat de standzekerheid van het kunstwerk niet in gevaar komt. Een uitvoerige beschrijving van de door de hier bedoelde verdedigingsconstructies te vervullen functies en de hiervan afgeleide functionele eisen, vindt plaats in hoofdstuk 4.2.1.

2.2 Constructie-typen

De hiervoor bedoelde verdedigingsconstructies werden voor enkele tientallen jaren geleden uitsluitend opgebouwd uit granulaire materialen. Sinds de 60'er jaren heeft het geotextiel zijn intrede gedaan. Dit betekent echter niet dat de granulaire filters nu ouderwets zijn, integendeel, juist de laatste jaren is hier o.a. in het kader van de Oosterscheldewerken veel onderzoek naar verricht en dit heeft geleid tot nieuwe inzichten en toepassingsmogelijkheden. De verschillende constructie-typen stellen de ontwerper in staat een keuze te maken die het best past in de geometrie van het totale ontwerp. De thans in aanmerking komende typen zijn als volgt te onderscheiden. (zie fig. 2.1)

- a. het zoolstuk
- b. de blokkenmat
- c. de granulaire laagopbouw

ad a. het zoolstuk

Het zoolstuk bestaat uit een "zool" van geotextiel met daar bovenop bevestigd een rijshouten constructie, die achteréénvolgens opgebouwd is uit een enkele laag wiepen, één of twee lagen rijshout en een bovenroosterwerk vastgesjord aan de onderwiepen.

Om het stuk aan de grond te brengen wordt het afgezonken met

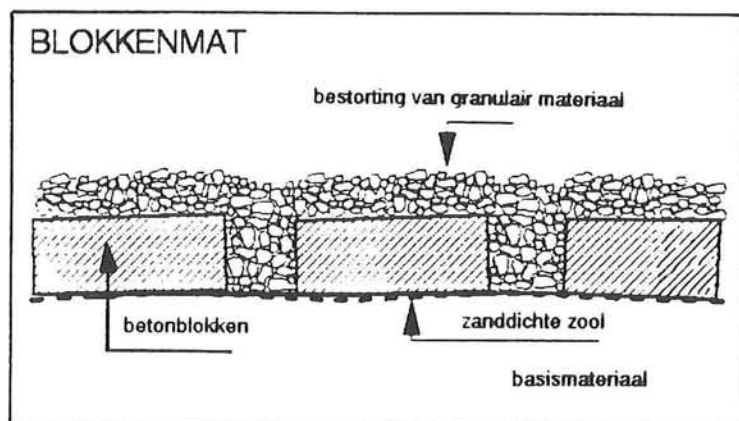
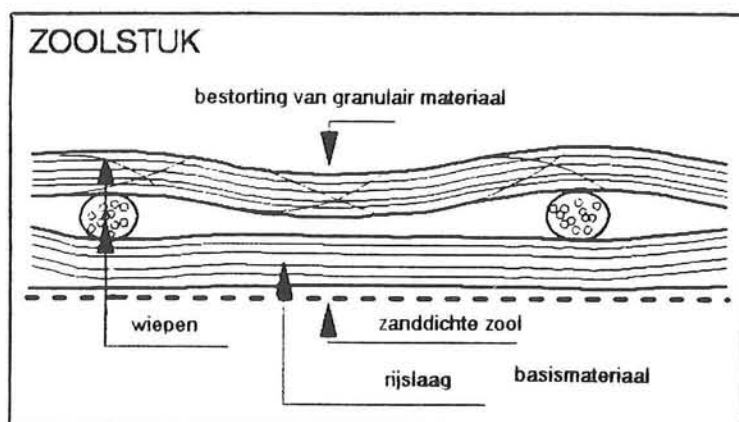
zinksteen, die beperkt van gewicht is om eventuele schade aan het stuk te voorkomen. Hierna wordt het afgestort met zwaardere steen wat doorgaans de stabiele toplaag van de bodemverdediging vormt.

ad.b de blokkenmat

De blokkenmat bestaat uit een dragerweefsel van polypropreen met daarop bevestigd een vaste ballast in de vorm van betonblokken. Deze betonblokken hebben zodanige afmetingen dat 50 % van het geotextiel afgedekt is. Om de mat voldoende stabiliteit te geven en om klapperen van het niet door betonblokken bedekte weefsel te voorkomen, wordt de mat afgestort en geballast met granulair materiaal.

ad.c granulaire opbouw

Deze constructie wordt opgebouwd uit granulair materiaal zonder toepassing van een geotextiel. Afhankelijk van de ontwerpeisen en de belastinggrootte kan deze constructie uit één of meerdere lagen worden opgebouwd. De constructie wordt, gezien vanaf de ondergrond, opgebouwd in lagen filtermateriaal die in grofheid toenemen. De bovenste en grofste laag wordt de toplaag genoemd en de tussenlaag(en) de filterlagen.



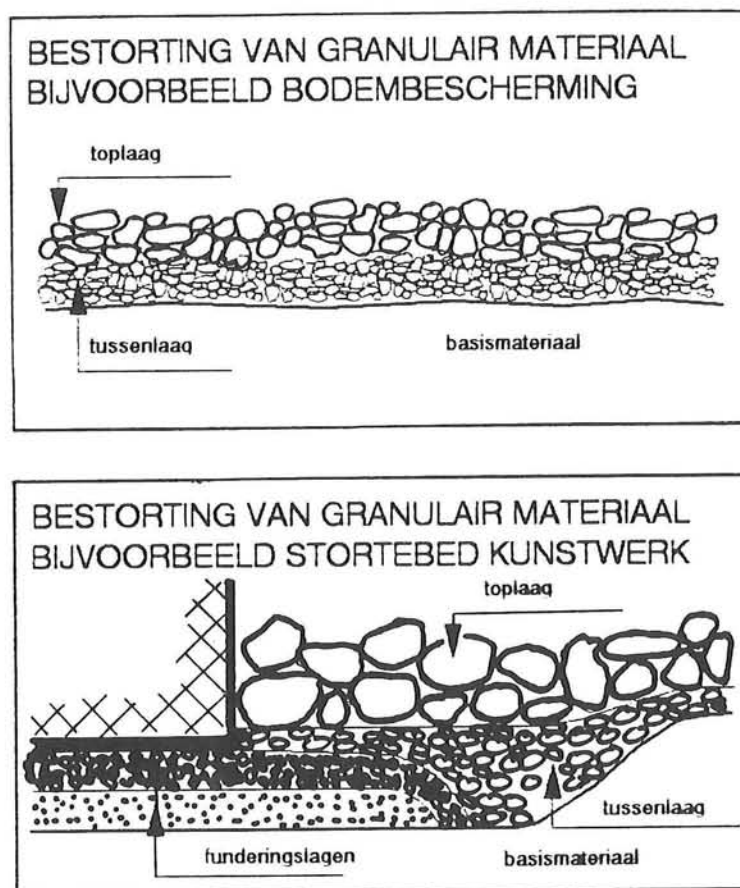


fig. 2.1 enkele constructie-varianten

2.3 Voorkeursvariant.

Om een keuze te kunnen maken uit de diverse alternatieven, dient in de voorontwerpfase voor elk der varianten een kosten-baten analyse te worden uitgevoerd.

Bij deze kwantitatieve beoordeling worden de materialen beoordeeld naar hun kosten. Omdat deze kosten, afhankelijk van de te beschouwen variant, niet altijd op dezelfde tijdstippen worden gemaakt, kunnen ze niet direct met elkaar worden vergeleken. Om een dergelijke vergelijking toch mogelijk te maken, zijn in de economie diverse rekentechnieken ontwikkeld. Momenteel wordt de "disconteringsmethode" het meest toegepast. Disconteren, of constant maken, is het met behulp van een rentevoet op gelijke tijdbasis brengen van geldbedragen die op verschillende tijdstippen worden uitgegeven, om zodoende deze bedragen vergelijkbaar te maken. (zie lit. 1 en 2)

De variant met het grootste batige saldo verdient, uit oogpunt van kosten, de voorkeur. Echter voor de definitieve keuze tussen de varianten is het beschouwen van enkel kosten onvoldoende. Hiervoor dient een totale kosten-baten analyse te worden opgezet.

Multicriteria-methoden zijn hierbij een goed hulpmiddel. Bij deze methoden wordt een matrix opgesteld waarin vertikaal de beoordelingsaspecten een plaatsvinden en horizontaal de diverse

alternatieven.

Beoordelingsaspecten voor de hier bedoelde ontwerpen kunnen zijn:

1. mate van functievervulling.
2. risico.
3. uitvoeringsgemak.
4. uitvoeringsrisico.
5. onderhoudsinspanning.
6. herstelmogelijkheden.
7. invloed op de omgeving.
8. totale kosten.

Bij het toepassen van deze techniek is het van groot belang dat de beoordelingsaspecten exact worden gedefinieerd, evenals de richting van de waardering. Bijvoorbeeld in hoeverre is het aspect "risico" ook begrepen in de totale kosten en welk risico wordt bedoeld.

Een verfijning van deze techniek kent aan de verschillende aspecten gewichten toe, waarmee de score per aspect mag worden vermenigvuldigd.

De vaststelling van de gewichten kan in discussie gebeuren, doch er is ook een eenvoudige hulpmethode. Hierbij wordt van alle aspecten twee aan twee vastgesteld, welke men de belangrijkste vindt. De belangrijkste krijgt een één, de minst belangrijke een 0 als waardering. De sommatie van het aantal eenen per aspect geeft vervolgens het gewicht. In tabel 2.1 wordt dit verduidelijkt met een voorbeeld.

beoordelings- aspect	1	2	3	4	5	6	7	8	Gewichts- toekenning
1	-	1	1	0	1	0	1	1	5
2	0	-	0	1	1	0	1	1	4
3	0	1	-	0	1	1	0	0	3
4	1	0	1	-	1	0	0	0	3
5	0	0	0	0	-	1	1	0	2
6	1	1	0	1	0	-	0	1	4
7	0	0	1	1	0	1	-	1	4
8	0	0	1	1	1	0	0	-	3

tabel 2.1 Gewichtstoekenning beoordelingsaspecten.

HOOFDSTUK 3

BESTORTINGSMATERIALEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een globale beschrijving gegeven van de verschillende bestortingsmaterialen die het meest gebruikt worden voor de hier bedoelde toepassingen. Een overzicht wordt gegeven van de karakteristieken van de volgende materiaalsoorten:

- * breuksteen.
- * steenachtige materialen, zoals mijnsteen, fosforslak en staalslak.
- * grind- en grindzand.

Bij de uiteindelijke keuze van de toe te passen materialen zijn een aantal materiaaltechnologische-eigenschappen van belang, te weten:

- de soortelijke massa.
- de sortering of korrelverdeling.
- de milieuhygiënische aspecten.
- de sterkte en duurzaamheid.

In de volgende paragrafen wordt nader op deze hoedanigheden ingegaan.

3.2 Herkomst en soortelijke massa

3.2.1 Breksteen

De breuksteen voor waterbouwkundige doeleinden is voornamelijk afkomstig uit steengroeven in België en Duitsland en in mindere mate uit steengroeven in Noorwegen en Schotland. Voor de bouw van de Oosterscheldekering is bovendien een grote hoeveelheid breuksteen uit Finland en Zweden verwerkt.

Bij breuksteen kan onderscheid worden gemaakt tussen twee hoofdsoorten n.l.:

- soorten met een relatief hoge soortelijke massa;
- soorten met een relatief lage soortelijke massa;

Tot de eerste soort behoren o.a.

Basalt	- 3,0	t/m ³
Diabaas	- 2,9-3,0	t/m ³
Basalt lava	- 2,8	t/m ³ .

Tot de tweede soort behoren o.a.

Gneis	- 2,7	t/m ³
Kalksteen	- 2,65	t/m ³
Graniet en Grauwacke	- 2,6	t/m ³ .

Uiteraard komen meer steensoorten voor dan hier zijn genoemd, maar dit zijn de meest voorkomende waar in de Nederlandse water-

bouw ervaring mee is.

3.2.2 Mijnsteen

Mijnsteen, een verzamelnaam voor alle soorten nevengeesteenten die bij de winning van steenkool vrijkomt, vindt zijn herkomst in Nederland, België en Duitsland. De soortelijke massa varieert, afhankelijk van het koolstof- en pyrietpercentage, van 2,4 tot 2,6 t/m³. Nadat de winning van steenkool in Nederland is gestaakt en de meeste mijnsteendepots zijn afgegraven of een bestemming hebben gekregen, vindt er geen levering van mijnsteen uit Nederland meer plaats.

3.2.3 Fosforslak

Fosforslak is een stollingsprodukt dat vrijkomt bij de bereiding van fosfor en is voor Nederlands gebruik afkomstig van de fosforfabriek Hoechst te Vlissingen. De dichtheid bedraagt gemiddeld 2,7 t/m³.

3.2.4 Staalslak

Staalslak is een stollingsprodukt dat vrijkomt bij het productieproces van staal, en wordt door staalfabrieken in Nederland, België en Duitsland op de markt gebracht. In vergelijking met natuursteen is de variatie in de dichtheid groot. Afhankelijk van het variërende holtepercentage bevindt de dichtheid zich tussen de 3,1 en 3,3 t/m³.

3.2.5 Grind-en grindzand

Grind en zand zijn ontstaan door verwerking van gesteenten, dat via de rivieren getransporteerd wordt naar lager gelegen gebieden en waar het bij afnemende stroomsnelheid wordt gesedimenteerde.

Voor de nederlandse behoefte aan riviergrind zijn de stroomgebieden van de Maas en de Rijn de belangrijkste wingebieden. Tevens wordt voor de Engelse zuid- en oostkust zeegrind gewonnen, dat afkomstig is van kusterosie en van aanvoer door rivieren.

De dichtheid, die afhankelijk is van de percentages vuursteen, kwartsiet en zandsteen, varieert van 2,5 tot 2,6 t/m³.

3.3 **Sorteringen**

3.3.1 Algemeen

De in beschouwing genomen bestortingsmaterialen zijn in verschillende sorteringen te leveren. De korrelverdeling van deze sorteringen wordt opgebouwd rondom de D50 of M50 van het materiaal. Bij breuksteen is het aan te bevelen de sortering niet te breed te kiezen (D90/D10 ca. 2 à 3)), dit in verband met ontmenging van het materiaal tijdens overslag, transport en verwerking.

Voor een kwantificering van de kenmerkende diameter (D15 enz) en massa (M50) van de verschillende sorteringen breuksteen wordt

verwezen naar bijlage 1.

In de waterbouw onderscheidt men zware, lichte en fijne sorteringen. De zware en lichte sorteringen worden uitgedrukt in massa's (kg) en de fijne sorteringen in zeefmaten (m/m). Op basis van deze indeling wordt onderstaand, per materiaalsoort, een overzicht gegeven van de meest gangbare sorteringen.

3.3.2 Breuksteen

De grootte van de breuksteensortering is afhankelijk van:

- wat het ontwerp vraagt;
- wat in de praktijk mogelijk is.

Uit de ontwerpisen volgen de afmeting en gradering van de stenen, slakken of (beton)elementen. De keuze van de materiaal-soort hangt onder meer af van wat leverbaar is in de gewenste afmeting.

Basalt bijvoorbeeld, kenmerkt zich door een zuilenstructuur. De diameter van deze zuilen bedraagt in het algemeen niet meer dan enkele decimeters, waardoor ook het gewicht van de individuele stenen beperkt is tot enkele honderden kilogrammen. Echter in uitzonderlijke gevallen komt ook basalt 10-15 ton voor.

Informatie over eigenschappen en leveringsmogelijkheden van de gewenste steensorteringen kan men verkrijgen bij Rijkswaterstaat:

- Bouwdienst Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling Waterbouw
- Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Hoofdafdeling Materialen

De volgende steensorteringen zijn en worden toegepast in waterbouwkundige constructies en kunnen aanbevolen worden voor algemeen gebruik:

Lichte sortering: 5 - 40 kg
10 - 60 kg
4 - 200 kg
60 - 300 kg

Zware sortering :300 - 1000 kg
1000 - 3000 kg
3000 - 6000 kg
6000 - 10000 kg
10000 - 15000 kg

Van deze sorteringen worden de sorteringen 60-300 kg en zwaarder in de regel visueel gesorteerd uit het materiaal, zoals dat na het springen in de steengroeve aanwezig is. De sorteringen 5-40 kg en 10-60 kg worden in de regel verkregen door zwaarder materiaal te breken en via zeven te sorteren.

Behalve de twee laatst genoemde sorteringen kunnen veel kleinere sorteringen door breken en zeven worden verkregen.

De sorteringsgrenzen worden daarbij niet meer aangegeven in kg maar in mm. Binnen afmetingen van 2 tot 250 mm kan men welhaast iedere sortering verkrijgen die men wenst.

Dit gebroken materiaal, de zogenaamde fijne sorteringen, wordt n.l. in bepaalde standaard-sorteringen geproduceerd, die onder-

ling in bepaalde verhoudingen kunnen worden gemengd waardoor een ruime keuze aan mogelijkheden ontstaat.

De grootte van dit gebroken materiaal wordt bepaald door:

- voor wat betreft de ondergrens; door de afmeting die nog af te zeven is; ongeveer 2 mm;
- voor wat betreft de bovengrens; door de grootste afmeting die na breken resteert; ongeveer 250 mm.

Binnen deze grenzen kan men een groot aantal sorteringen betrekken als men maar bedenkt dat bij een te brede gradering, het gevaar van ontmenging groot is (zie hoofdstuk 4.7.6).

3.3.3 Mijnsteen

Mijnsteen wordt geleverd in 2 sorteringen, te weten:

- ongesorteerd, 0-70 mm met een D50 tussen de 10 en 20 mm;
- gesorteerd, 10-125 mm met een D50 tussen de 50 en 70 mm.

3.3.4 Fosforslak

Fosforslak wordt geleverd in meerdere sorteringen, te weten:

- ongesorteerd, 0- ca. 350 mm met een D50 van ongeveer 35 mm;
- gesorteerd, verschillende mogelijkheden, zoals 40-160 mm met een D50 van ongeveer 70 mm.

3.3.5 Staalslak

De meest gangbare sortering is 40-160 mm, met een D50 tussen ca. 60-70 mm.

Voor de bouw van de Oosterscheldekering is de sortering 40-250 mm geleverd. Dit bleek echter slechts zeer beperkt leverbaar. Deze sortering moet als niet realistisch worden beschouwd. Beneden de maat van 60 mm kunnen betrekkelijk vele sorteringen worden geleverd.

3.3.6 Grind- en grindzand

Grind is in vele sorteringen verkrijgbaar. Het wordt gebaggerd op de rivieren of op zee en door middel van zeven in diverse sorteringen onderverdeeld. Als bovengrens kan een maat van ca. 120 mm gelden. Daarbeneden zijn vele sorteringen o.a. door het samenvoegen van min of meer gestandariseerde sorteringen, mogelijk.

Naast grind in natuurlijke vorm komt ook gebroken grind voor. De bovengrens van dit materiaal is ca. 25 mm. Daarbeneden zijn ook vele sorteringen mogelijk.

3.4 **Milieuhygienische aspecten**

3.4.1 Algemeen

Het milieu-effect van de toe te passen materialen op de omgeving, wordt beoordeeld aan de hand van:

- de chemische samenstelling van het materiaal.
- verspreiding door uitloging van ongewenste stoffen, die een bepaalde toepassing van het materiaal tot gevolg heeft.
- geschiktheid van het materiaal als drager van flora, fauna of menselijke activiteiten.

Deze beoordeling moet worden gebaseerd op van overheidswege gestelde richtwaarden of normen. Voor de hier bedoelde materialen en hun toepassing is de raamwet verontreiniging oppervlaktewater van kracht. Deze wet verbiedt om zonder vergunning schadelijke stoffen in welke vorm dan ook, aan te brengen in het oppervlaktewater.

3.4.2 Breuksteen, grind- grindzand en staalslak

Voor deze materialen gelden tot op dit moment geen milieuhygienische belemmeringen.

3.4.3 Mijnsteen

Een belangrijk milieuhygienisch aspect is de uitloogbaarheid van sulfaat. Hierdoor kan bij toepassing van mijnsteen, met name in stilstaand water, de basiskwaliteit overschreden worden. Bij gebruik van mijnsteen uit depots is het gevaar aanwezig, door al of niet illegale vuilstorting op de mijnsteenbergen, dat niet met mijnsteen verwante verontreinigingen in het milieu worden gebracht.

3.4.4 Fosforslak

Een milieuhygienische belemmering van fosforslak is de fluorideafgifte. Bij toepassing van dit materiaal in stilstaand water en in waterwingebieden, dient een terughoudend beleid gevoerd te worden. In zeewater speelt de fluorideafgifte een minder belangrijke rol vanwege de hoge achtergrondconcentratie en de grote verdunning die bij uitloging optreedt.

Voorts blijkt fosforslak een betrekkelijk hoge natuurlijke radioactiviteit te hebben, die overigens minder is dan de norm voor niet natuurlijke straling. Wellicht moet hierdoor in bepaalde toepassingen (bijv. recreatie) van het gebruik van fosforslak worden afgezien.

3.5 **Sterkte en duurzaamheid.**

Voor de sterkte en duurzaamheidsaspecten van de verschillende in beschouwing genomen materialen wordt verwezen naar lit. 3, 4 en 5. Voor een beschrijving van de sterkte- en duurzaamheids-eisen wordt verwezen naar hoofdstuk 4.6.5 en 4.7.5

Voorts kan opgemerkt worden, dat de materiaal- en keuringseisen voor breuksteen vastgelegd zijn in de normbladen NEN-ISO 5180 t/m 5188.

HOOFDSTUK 4

ONTWERPASPEKTEN

4.1 Inleiding

In het ontwerpproces kan een aantal stadia worden onderscheiden. Deze verschillende stadia zijn een probleemdefiniërende, een werkwijzebepalende en een vormgevende fase. In de eerste fase wordt het gestelde probleem zo helder mogelijk geformuleerd, door na te gaan aan welke eisen moet worden voldaan. Dit kan geschieden door de bekende begintoestand en de gewenste eindtoestand zo nauwkeurig mogelijk te beschrijven. Met dit pakket van eisen en een verzameling van natuurrandvoorwaarden en het vaststellen van de door de constructie te vervullen functies, wordt deze fase afgerond.

In de werkwijze bepalende fase wordt vastgesteld op welke wijze de te vervullen functies kunnen worden gerealiseerd en welke functionele eisen gesteld dienen te worden. In deze fase worden verschillende ontwerpvarianten met elkaar vergeleken en beoordeeld op hun wijze van functioneren en uiteindelijk getoetst op de haalbaarheid hiervan. Hierbij wordt de meestbelovende variant(en) geselecteerd voor verdere uitwerking. (zie hoofdst. 2.3)

De gekozen variant, in het kader van dit handboek een verdedigingsconstructie van granulair materiaal, wordt in de vormgevende fase uitgebreid bestudeerd en getoetst aan de definitieve criteria. Alle grenstoestanden moeten dan worden nagegaan en worden gecontroleerd.

In de hierna volgende paragrafen worden de bovengenoemde aspecten nader beschreven en worden de kritieke sterkteparameters aan de hand van een foutenboom geanalyseerd. Voorts wordt op basis van deze uitkomst een kwalitatieve beschouwing en inventarisatie gegeven van de hieruit voortkomende ontwerpeisen en een vertaling gemaakt van deze eisen naar de uitvoering.

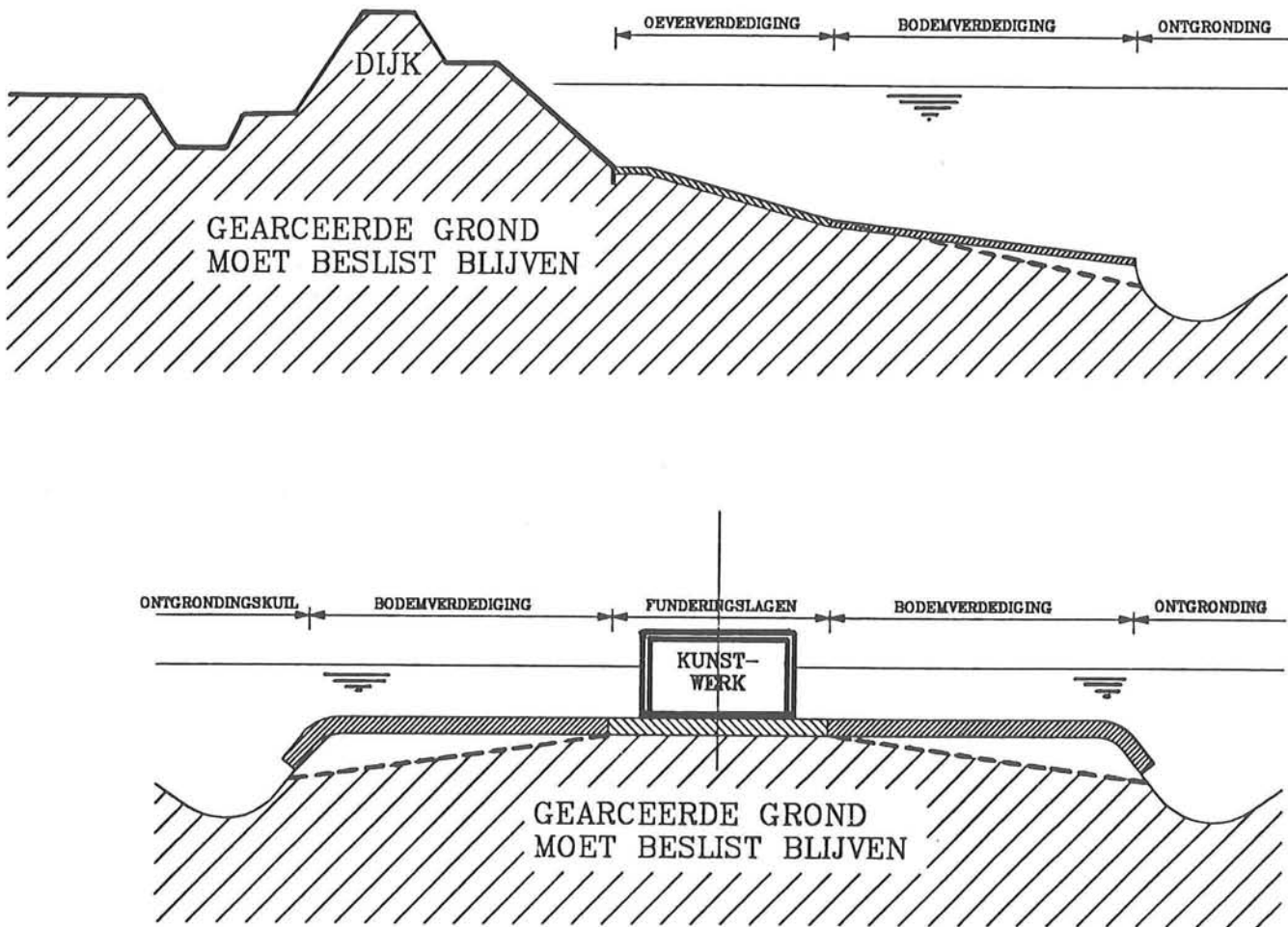
4.2 Functies en aan de constructie te stellen eisen

4.2.1 Funktie-analyse

Bij funderingen van waterbouwkundige constructies, zoals waterdoorvoerende, -kerende constructies en dijken e.d in een erosiegevoelig bodemmilieu, vraagt het in stand houden van een goede funderingsgrondslag bijzondere aandacht. Om erosie te voorkomen of te beperken kan een bodemverdediging worden toegepast. Deze zijn soms beperkt tot een gebied direct onder het kunstwerk, maar strekken zich meestal uit tot op grote afstand van de constructie.

De hoofdfunctie van een bodemverdediging is het beschermen van de ondergrond tegen overmatige erosie, direct onder en in de directe omgeving van een kunstwerk. Naast deze stabiliteitsfunctie heeft een granulaire verdedigingsconstructie een filter-, zanddichtheids-, en een waterdoorlatendheidsfunctie. Onder overmatige erosie wordt verstaan; een zodanige erosie dat een grondmechanische instabiliteit aanleiding geeft tot het be-

zwijken van het kunstwerk. In tegenstelling tot de ondergrond direkt onder een kunstwerk, behoeft de te beschermen grond voor of achter het kunstwerk niet in zijn geheel op zijn plaats te blijven, met andere woorden; een zekere erosie op die plaatsen is vaak toelaatbaar. De grondbeschermende functie van een bodemverdediging kan dus wezenlijk verschillen van die van een funderingsconstructie. In figuur 4.1 is dit illustratief weergegeven:



Figuur 4.1 grondbeschermende functie bodemverdediging.

Om de in dit hoofdstuk bedoelde constructietypen (zie hoofdstuk 2) hun beschermende functie lokaal te kunnen laten vervullen, moet een bodemverdediging aan de volgende functionele eisen voldoen:

- * De verdediging moet bestand zijn tegen de aanval van stroom en golven en tevens moet de totale geotechnische stabiliteit tegen afschuiven verzekerd zijn.

- * Elke bestortingslaag of geotextiel moet in staat zijn de onderliggende laag te beschermen tegen uitspoelen. Ook transport (interne stabiliteit) in de bestortingslaag zelf, moet worden voorkomen.
- * De constructie moet, afhankelijk van haar toepassing, voldoende zanddicht zijn om erosie van de ondergrond te voorkomen of te beperken.
- * De constructie moet zodanige afmetingen hebben dat een eventuele geotechnische instabiliteit (afschuiving, zettingsvloeiing) zich niet tot in de funderingsgrondslag van het kunstwerk uit kan breiden.
- * De constructie moet flexibel zijn, dat wil zeggen dat een zekere mate van zettingen van de ondergrond door de constructie gevolgd moeten kunnen worden.

Aan de hier genoemde functionele eisen moet de bodemverdediging blijven voldoen gedurende de hele levensduur van de constructie. Met andere woorden de constructie moet duurzaam en betrouwbaar zijn. De duurzaamheidseis betekent, dat de toegepaste materialen weerstand moeten kunnen bieden tegen mechanische belastingen, tegen chemische invloeden en tegen temperatuurwisselingen. De betrouwbaarheidseis betekent hier, dat de constructie moet voldoen aan de toebedeelde of geeiste faalkans, die bepaald dient te worden door het toelaatbare aandeel van het falen van de bodemverdediging in het falen van de constructie als geheel.

4.2.2 Inspectie-, onderhouds- en hersteleisen

Hoewel in de ontwerpfasen van de constructie aandacht wordt geschonken aan de gebruiksfase van de constructie en gestreefd wordt naar een zo goed mogelijke functionering van het eindprodukt, blijven de hier bedoelde aspecten vaak onderbelicht. Vooral het onderhoud is gedurende de levensduur van de constructie een steeds wederkerende taak. De omvang van de taak wordt in feite vastgelegd in de ontwerpfasen en moet derhalve een punt van overweging vormen.

Voordat ingegaan wordt op de hieruit voortkomende eisen, worden de begrippen inspectie, onderhoud en herstel eerst nader gedefinieerd:

Inspectie: werkzaamheden met het doel om vast te kunnen stellen in welke conditie de bodemverdediging verkeert en om eventuele schade op te kunnen sporen.

Onderhoud: werkzaamheden om de verdediging in goede staat te houden, zodat deze kan blijven voldoen aan de gestelde functionele eisen.

Herstel : werkzaamheden die noodzakelijk zijn om bij onvoorziene schade, de kwaliteit van het produkt weer op aanvaardbaar peil te brengen.

Ten aanzien van deze aspecten kunnen de volgende eisen gesteld

worden:

- * Gebreken en kans op falen dienen bij voorkeur duidelijk en tijdig waarneembaar te zijn. Bij onderwater-constructies zullen hiervoor eisen gesteld moeten worden aan de inspectiemiddelen en de frequentie van inspecteren.
- * De gehele constructie moet goed bereikbaar zijn voor het materieel, waarmee onderhoud uitgevoerd dient te worden.
- * De te plegen onderhoudswerkzaamheden moeten doelmatig uitgevoerd kunnen worden.
- * De geconstateerde schade moet snel en eenvoudig hersteld kunnen worden.
- * Ter voorkoming van discontinuïteiten dient bij voorkeur volgens de oorspronkelijke constructie en met dezelfde materialen hersteld te kunnen worden.

4.2.3 Uitvoeringstechnische eisen

De uiteindelijke kwaliteit van een bodemverdedigingsconstructie wordt behalve door het ontwerp in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van de toe te passen materialen en de wijze van uitvoering. Voor de materiaal- en materieelkeuze en een uitvoerige beschrijving van de stortproceseisen wordt verwezen naar de hoofdstukken 3,5 en 10.

Hierna worden enkele aspecten gegeven waaruit uitvoeringstechnische eisen volgen, waarmee bij het ontwerp rekening moet worden gehouden:

Bereikbaarheid;

De constructie moet zowel in de aanleg- als in de gebruiksfase toegankelijk zijn voor het in te zetten materieel; met name de waterdiepte, de stroom- en golfcondities en de afstand van de plaats van verwerking tot de vaste wal, bepalen respectievelijk de diepgang, de zeewaardigheid van het stortschip en het type plaatsbepalingssysteem dat toegepast kan worden.

Plaats van verwerking;

Het te gebruiken materieel moet geschikt zijn om onder de lokale omstandigheden en randvoorwaarden het werk te kunnen uitvoeren. Bijvoorbeeld het storten van fijn gegradeerd materiaal in sterk stromend water is erg moeilijk aan te brengen vanaf de waterlijn. Dit kan leiden tot aanpassing van het ontwerp (bijv. filtermat) of ander materieel (bijv. rolstrooier).

Bouwfase;

Bij het dimensioneren dient rekening te worden gehouden met het feit, dat tijdens de uitvoering een tussenlaag (filterlaag) tijdelijk als toplaag moet fungeren. Door deze laag(en) met een zekere overhoogte aan te brengen is, afhankelijk van de functionele eisen, enig materiaalverlies acceptabel. De uitvoeringsmethode en de toelevering van materiaal moeten zodanig op elkaar afgestemd zijn, dat het werk binnen de gestelde uitvoeringsperiode gerealiseerd kan worden.

4.3 Randvoorwaarden, belastingen

De belangrijkste randvoorwaarden en belastingen die van directe invloed zijn op het functioneren van een bodemverdedigingsconstructie zijn:

Hydraulische randvoorwaarden;

Waterstanden, debieten en/of stroomsnelheden, grondwaterstroming, stroombeeld (vertikale en horizontale snelheidsverdeling), turbulentie-intensiteit, golven, initiëel zandtransport enz. De mate van kennis van het stroombeeld in de nabije omgeving van de constructie is bepalend voor de nauwkeurigheid van de stabiliteits- en ontgrondingsberekeningen.

Geometrische randvoorwaarden;

De geometrie van de waterdoorvoerende constructie bijvoorbeeld een stormvloedkering of een afsluitingswerk, is verantwoordelijk voor het maximum verval, het maximum vloed- en ebdebiet en de optredende golven. Deze randvoorwaarden leiden in zowel de bouw- als gebruiksfase tot de lokale belasting op de verdedigingsconstructie. Hierbij is het tevens van belang te weten welke methode van sluiting wordt toegepast (vertikaal, horizontaal of een combinatie van beiden) en de duur van de bouwfasen bij afsluitingswerken en die van sluiten, keren en openen bij waterdoorvoerende en waterkerende constructies.

Grondmechanische randvoorwaarden;

Voor het filterontwerp, de ontgrondings- en stabiliteitsberekeningen, zijn de volgende grondmechanische randvoorwaarden van belang: de gelaagdheid van de bodem, de grondsoort, de korrelverdeling van de basislaag voor het filter, de dichtheid, de porositeit (zettingsvloeiingsgevoeligheid), de hoek van inwendige wrijving, de kritische snelheid (stroombestendigheid) van het bodemmateriaal van begin van bewegen en de valsnelheid van het bodemmateriaal.

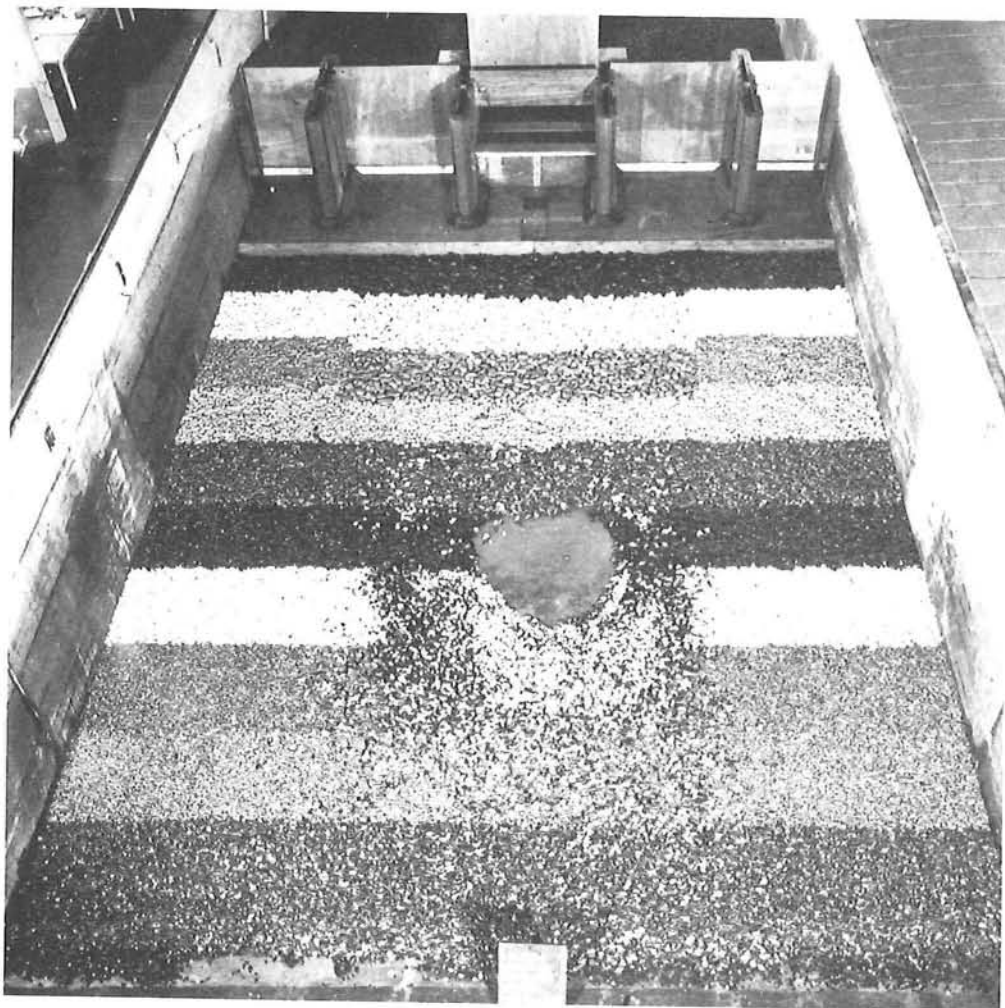
4.4 Ontwerpfilosofie en -methodiek

Een bodemverdedigingsconstructie dient gebaseerd te zijn op een verantwoord ontwerp dat een goed compromis is tussen de randvoorwaarden gesteld vanuit technische, maatschappelijke en financieel-economische invalshoeken. Het voldoen aan de gestelde technische randvoorwaarden spreekt voor zich. De maatschappelijke invalshoek legt criteria op, die betrekking hebben op de mogelijke functies en op de besluitvormingsprocedure. Het laatste aspect hangt nauw samen met de financieel-economische benadering, waarbij een optimalisatie van de totale kosten over de gehele levensloop van de constructie uitgevoerd dient te worden.

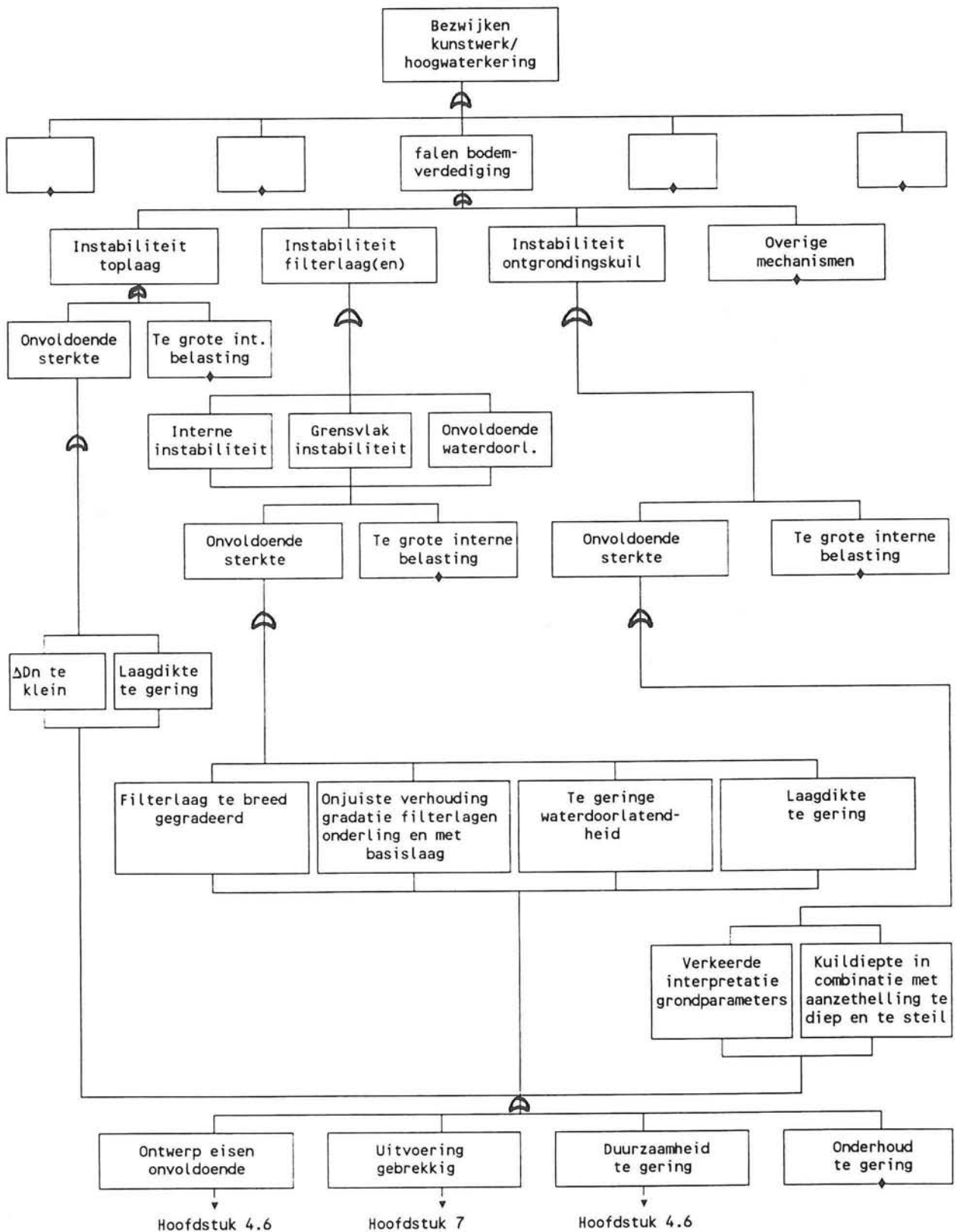
Voor een optimaal ontwerp in het licht van financieel-economische randvoorwaarden en een evenwichtig ontwerp in het licht van het in gelijke mate bijdragen van constructie-onderdelen in de totale sterkte, dus een ontwerp zonder te zwakke of te

sterke schakels, kan een probabilistische ontwerpmethode gekozen worden. Een dergelijke methode houdt rekening met onzekerheden in de ontwerpformules en de waarden van de invoergegevens. Dit in tegenstelling tot een deterministische methode, waarbij een veiligheidsfactor afstand schept tussen de maatgevende waarden van sterkte en belasting.

Uitgangspunt voor een probabilistische methode is de toelaatbare faalkans van de gehele constructie waar de bodemverdediging onderdeel van uitmaakt.



Schadebeeld stortebed modelonderzoek weigerende schuif Stormvloedkering Oosterschelde.



♦ = Niet verder uitgewerkt

Figuur 4.2 Foutenboom bodemverdediging

De uitwerking van ieder constructieonderdeel bestaat uit het samenstellen van de belasting- en sterkteverdeling en een schatting van de overdrachtskansen van de verschillende gebeurtenissen in de foutenboom. (zie fig.4.2) Daaruit volgt de bijdrage van het betreffende onderdeel aan het falen van de gehele constructie. De som van alle bijdragen moet hierbij kleiner zijn dan de toelaatbare faalkans.

Daar deze aanpak rekenintensief is en de onzekerheden in de randvoorwaarden vaak slecht bekend zijn, wordt vaak gekozen voor een semi-probabilistische aanpak. Bij deze methode wordt voor elk onderdeel van de totale constructie uitgegaan van een extreme belasting met een vast te stellen of voorgeschreven overschrijdingskans. Deze ontwerpbelasting, vermenigvuldigd met partiële veiligheidscoëfficiënten en gerelateerd aan de bovengenoemde marges, leidt tot de extreme belasting waarop elk onderdeel gedimensioneerd dient te worden.

4.5 Faalmechanismen bodemverdediging

4.5.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de faalmechanismen van een bodemverdedigingsconstructie beschreven, geldend voor een constructie die opgebouwd is uit meerdere lagen granulair materiaal.

De hier bedoelde verdediging faalt als het één of meer van zijn functies niet (meer) vervult. (zie voor functionele eisen hoofdst. 4.2.1)

Van lokaal falen, of een lokale grenstoestand wordt overschreden, is in ieder geval sprake, als lokaal een zo grote afschuiving of zettingsvloeiing (geotechnische instabiliteit) reëel wordt.

Een andere manier van lokaal falen kan zich voordoen als gevolg van het optreden van een dergelijke grondmechanische instabiliteit van de ontgrondingskuil, ter plaatse van de rand van de verdediging.

Een bezwijk- of faalmechanisme geeft de wijze aan hoe de constructie reageert op bepaalde oorzaken en zijn voor wat betreft materiaaltransport, waterdoorlatendheid en ontgrondingen te onderscheiden in:

- * transport tengevolge van instabiliteit van de toplaag.
- * transport tengevolge van interne instabiliteit van de filterlagen.
- * transport tengevolge van grensvlakinstabiliteit van de filterlagen en of de basislaag.
- * een te beperkte afvoer van water in het filterpakket.
- * grondmechanische instabiliteit van de ontgrondingskuil ter plaatse van de randen van de verdediging.

4.5.2 Instabiliteit toplaag

De definitie van lokaal bezwijken van de toplaag is het verlies van de afdekkende functie, die explosieve schade aan de onderliggende filterlaag(en) kan veroorzaken, dat op zijn beurt weer kan leiden tot het falen van het kunstwerk of dijk e.d.

Bezwijken is hier echter een moeilijk begrip als ervan uitgegaan

wordt, dat er na het begin van bewegen van enkele stenen uit de toplaag een transportsnelheid optreedt. Met andere woorden, indien een belasting optreedt net hoger dan benodigd voor begin van beweging, doch maar lang genoeg aanhoudt, bezwijkt de constructie. Beter is het om een zeker aantal stenen per oppervlakte bodemverdediging te bepalen en dit aantal als bezwijkcriterium te hanteren. In de literatuur wordt voor dit criterium meestal de dimensieloze Shieldsparameter aanbevolen.

4.5.3 Interne instabiliteit filterlaag

Bij dit mechanisme is er sprake van lokaal falen als er teveel filtermateriaal uitspoelt, wat overigens alleen op kan treden bij sterk gegradeerde mengsels. Hierbij verplaatst de fijne fraktie van het filtermateriaal zich door het korreelpakket van de bovenliggende laag. Zodoende treedt er uitspoeling van materiaal op, waardoor het mengsel niet meer voldoet aan de gestelde filterregels.

4.5.4 Grensvlakinstabiliteit filterlaag

Bij grensvlakinstabiliteit van filterlagen treedt materiaaltransport op ter plaatse van de overgang tussen twee opvolgende filterlagen. Dit mechanisme treedt op wanneer de overgang tussen beide lagen te ruim is gedimensioneerd.

4.5.5 Onvoldoende waterdoorlatendheid

Indien de waterdoorlatendheid evenwijdig aan of loodrecht in het vlak van het filter onvoldoende is, kunnen overdrukken in het filter ontstaan. Dit mechanisme kan zich voordoen als gevolg van bijv. het verkitten van filtermateriaal (slakken) of wanneer een dichte sliblaag als lens tussen twee opvolgende filterlagen ingesloten zit.

4.5.6 Instabiliteit ontgrondingskuil

Bij een voldoende lengte van de bodemverdediging leidt een zettingsvloeiing of een afschuiving als gevolg van een instabiliteit van de ontgrondingskuil, niet direct tot het falen van bijv. het kunstwerk. Bij de kuilontwikkeling moet, voor wat betreft helling en diepte van de kuil, onderscheid gemaakt worden in: ontgrondingen evenwijdig aan en loodrecht op de rand bodemverdediging. Afhankelijk van de grondgesteldheid, geometrie van de constructie en de belastingintensiteit, dient een eenduidige definitie van de grenstoestand kuildiepte te worden vastgesteld.

Een zettingsvloeiing of afschuiving treedt op als aan de volgende criteria wordt voldaan:

Zettingsvloeiing;

- * het zand (grondslag) is zettingsvloeiingsgevoelig als het in situ poriëngehalte groter is dan het kritieke poriëngehalte.
- * de dikte van de zettingsvloeiingsgevoelige laag vijf meter

- of meer bedraagt.
- * de aanzethelling, helling aansluitend op de verdedigingsconstructie, over vijf meter of meer, steiler of gelijk is aan 1:4. Dit treedt op bij ontgrondingskuil diepten van 9 meter of meer. De gemiddelde aanzethelling over de totale ontgrondingskuildiepte is dan steiler of gelijk aan 1:7.

Afschuiving:

- * het zand (grondslag) niet zettingsvloeiingsgevoelig is.
- * de aanzethelling over vijf meter hoogte of meer, steiler of gelijk is aan 1:2. Dit treedt op bij ontgrondingskuil diepten van 9 meter of meer. De gemiddelde aanzethelling over de totale ontgrondingskuil is dan steiler of gelijk aan 1:4,5.

4.5.7 Overige faalmechanismen

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat een bodemverdediging ook kan falen anders dan op grond van de bovengenoemde mechanismen. Falen is bijvoorbeeld ook mogelijk door het mechanisme beschadiging (bijv. slepende ankers) of door de schroefstraalwerking van bijv. manoeuvrerende schepen.

4.5.8 Gevolgen falen bodemverdediging

De gevolgen van het falen van een bodemverdediging, op grond van de bovengenoemde bezwijkmechanismen, kunnen verschillend zijn. De directe gevolgen van uitspoelend top laag- en filtermateriaal kunnen enerzijds leiden tot een vermindering van het functioneren van de constructie voor het onderliggende filter- en basismateriaal en anderzijds tot een te hoge belasting op het grensvlak van de verschillende constructielagen door een toename van de filterdoorlatendheid.

Andere directe gevolgen kunnen zijn: zakking van de bovenliggende lagen of constructie (bijv. funderingslagen), verlaging van de kritieke schuifspanningsparameter door een vermindering van de korrelspanning.

Uitspoeling van het basismateriaal (ondergrond) kan leiden tot dezelfde zojuist genoemde gevolgen. Een te geringe doorlatendheid van water kan, door een drukopbouw, gevolgen hebben voor de korrelspanning. Een ander gevolg kan ook zijn dat de totale constructie als geheel te weinig waterdoorlatend wordt. De vervolgschade voortkomend uit deze directe gevolgen, kan zijn:

zakking van de hoofdconstructie (bijv. kunstwerk, hoofdwaterkering) of grondmechanische instabiliteit. Zakkingen kunnen afhankelijk van de aard van de constructie ernstige problemen opleveren. In sommige gevallen zal enige zakking van de constructie echter acceptabel zijn, denk bijvoorbeeld aan de verdedigingsconstructie volgens figuur 4.1.

4.6 Ontwerpeisen

4.6.1 Inleiding

De constructie, opgebouwd uit granulaire materialen, moet verschillende functies kunnen vervullen. Voor het optimaal functioneren is het van belang dat de constructie voldoet aan de functionele-eisen, zoals beschreven in hoofdstuk 4.2.1

Falen op grond van de in hoofdstuk 4.5 genoemde bezwijkmechanismen kent verschillende oorzaken en gevolgen. Een schematisatie van combinaties van oorzaken, die tot een bepaalde ongewenste topgebeurtenis leidt, kan weergegeven worden via de foutenboom volgens fig. 4.2.

Deze algemene foutenboom zal voor concrete ontwerpen ingevuld moeten worden met scherpe formuleringen, aangevend om welke grootheden het gaat en welke relaties er bestaan tussen die grootheden. Voorwaarde hierbij is, dat die grootheden kwantificeerbaar zijn en dat de relaties kunnen worden beschreven met een of ander model. (analytisch, numeriek) Tevens is het noodzakelijk bepaalde gebeurtenissen te determineren, dat wil zeggen; betreft het een op zich zelf staande gebeurtenis of gaat om een serie gebeurtenissen. Wanneer niet alle relaties of gegevens bekend of onvoldoende nauwkeurig zijn, zullen er schattingen moeten worden gemaakt waarbij onzekerheden verwerkt worden in een kansverdeling.

In dit hoofdstuk wordt de foutenboom, zoals afgebeeld in figuur 4.2, gebruikt om voor de grondoorzaken "ontwerp en duurzaamheid onvoldoende", de ontwerpeisen te inventariseren en te kwalificeren op basis van de hier beschouwde faalmechanismen. Voor een dergelijke beschouwing, aangaande de uitvoering, wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

4.6.2 Ontwerpeisen toplaag

4.6.2.1 Materiaaleisen

Instabiliteit van de stenen uit de toplaag ontstaat wanneer de optredende bodemschuifspanning de toelaatbare overschrijdt. Deze bodemschuifspanning is een functie van de sroomsnelheid in het kwadraat. De tegenwerkende kracht wordt verzorgd door de zwaartekracht plus een eventuele kohesiekracht. Indien de aandrijvende kracht de tegenwerkende kracht overschrijdt, start de erosie. Dit moment wordt het begin van bewegen genoemd.

De erodeerbaarheid van het toplaagmateriaal is voornamelijk afhankelijk van de karakteristieke korreldiameter, neemt de diameter toe, dan neemt de erodeerbaarheid af.

De benodigde steenafmeting en de hiervan af te leiden steensortering kan bepaald worden aan de hand van verschillende empirische stabiliteitsformules. (zie Lit. 6) In deze rekenregels wordt de mate van stroombestendigheid van het materiaal uitgedrukt in de sterkteparameter ΔD_n . Dit is het produkt van de nominale steendiameter (D_n) en de relatieve dichtheid (Δ) van de steen, waarin:

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{M50}{\rho_s}} \quad (\text{m})$$

M50 = de massa van een steenstuk die door 50 massaprocent wordt onderschreden. (kg)

$$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w \quad (-)$$

ρ_s = dichtheid van het materiaal. (kg/m³)

ρ_w = dichtheid van water. (kg/m³)

Op basis van de berekende ΔD_n -waarde kan de benodigde steensortering afgeleid worden.

Vanuit het ontwerp moeten ten aanzien van het top laagmateriaal, eisen worden gesteld aan de korrel- of massaverdeling, de dichtheid en de vorm van de steenstukken. Ter illustratie worden in tabel 4.1 en 4.2 de grenswaarden voor de massaverdeling en de gemiddelde massa's van de lichte sorteringen breuksteen weergegeven, bepaald volgens NEN-ISO 5181 en 5182.

De eisen met betrekking tot de dichtheid, die voor breuksteen ten minste 2500 kg/m³ moet bedragen, dienen gedefinieerd te worden in een dichtheidspercentage en een gemiddelde dichtheid, waaraan het materiaal moet voldoen.

De vormeis van het materiaal heeft betrekking op een bepaalde verhouding tussen de dikte en de lengte van de steenstukken.

sortering	5-40 kg		10-60 kg		40-200 kg		60-300 kg	
massa in kg gelijk aan of groter dan	Cummulatieve fractie % (m/m)							
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
450	-	-	-	-	-	-	0	3
300	-	-	-	-	0	3	0	30
200	-	-	-	-	0	30	-	-
120	-	-	0	3	-	-	-	-
80	0	3	-	-	-	-	-	-
60	-	-	0	30	-	-	90	100
40	0	30	-	-	90	100	-	-
30	-	-	-	-	-	-	98	100
15	-	-	-	-	98	100	-	-
10	-	-	90	100	-	-	-	-
5	90	100	-	-	-	-	-	-
2	-	-	98	100	-	-	-	-
1,5	98	100	-	-	-	-	-	-

tabel 4.1 Grenswaarden voor de korrelverdeling van de fijne sorteringen breuksteen bepaald volgens NEN-ISO 5181

sortering	5-40 kg	10-60 kg	40-200 kg	60-300 kg
gemiddelde ¹⁾ massa in kg	min. max.	min. max.	min. max.	min. max.
	10 20	20 35	80 120	130 190

1) De eisen betreffende de gemiddelde massa's van de steenstukken exclusief de scherven

tabel 4.2 Gemiddelde massa's van de lichte sorteringen
breuksteen bepaald volgens NEN-ISO 5182

4.6.2.2 Laagdikte-eis

Om erosie van materiaal te voorkomen zou er theoretisch slechts een goed aaneengesloten laag van één steendikte aanwezig behoeven te zijn. In zo'n situatie echter, wordt de stroombestendigheid bepaald door het begin van bewegen van de kleinste steen uit deze laag, waardoor er gaten en eventuele erosie van de onderliggende laag op zou kunnen treden.

Door meer materiaal te storten kan er een zekere mate van "selfhealing" in de constructie optreden en is een beperkte mate van erosie toelaatbaar.

Voor de zware en lichte sorteringen (zie hoofdst.3.3), die in het algemeen in aanmerking komen voor toepassing als topplagmateriaal, wordt als minimum een laagdikte van 1.5 à 2 * D50 van de sortering geeist. Onder D50 wordt verstaan; de korreldiameter van het materiaal waarbij 50 gewichtsprocent van de korrels van de sortering een kleinere diameter heeft.

4.6.3 Ontwerpeisen filterlaag

4.6.3.1 Algemeen

Een filterconstructie van steenachtige materialen bestaat uit achtereenvolgend in grofheid toenemende lagen steen. De lagen moeten elkaar zodanig in grofheid opvolgen, dat onder invloed van de stationaire- en of cyclische verhangen of een combinatie van beiden, geen of in beperkte mate, materiaal door de grovere bovenlaag kan verdwijnen.

Tevens mogen geen ontoelaatbare wateroverdrukken vanuit de onderste lagen op de bovenste laag worden uitgeoefend en moet het geheel intern stabiel zijn.

De typen filters, die in de hier bedoelde constructies worden toegepast, bestaan uit granulaire materialen, geotextielen of een combinatie van beiden.

Uit kosten- en/of uitvoeringstechnische overwegingen wordt in bijzondere gevallen het totale filter (al of niet tezamen met de topplag) geprefabriceerd en als geheel aangebracht, de zogenaamde "verpakte" verdedigingen. Afhankelijk van de te vervullen functies van de filterconstructie, de belastinggrootte op het filter en de aard van de topplag (gesloten of open topplag) kunnen de volgende typen filters worden onderscheiden;

- a. Geometrisch dicht filter
- b. Hydraulisch dicht filter
- c. Transport filter

ad.a Geometrisch dicht filter:

Bij dit type filter wordt, ongeacht de belastinggrootte, voorkomen dat het fijne materiaal zich kan verplaatsen. Het fijne materiaal (basis- en tussenlaag(en)) wordt als het ware opgesloten, waarbij de waterdoorlatend voldoende gewaarborgd wordt. Dit type filter, dat vaak toegepast wordt in funderingsconstructies en in constructies, die onderhevig zijn aan grote dynamische verhangen, sluit materiaaltransport en het daaruit voortvloeiende stabiliteitsverlies en erosie van de ondergrond en het filter uit.

ad.b Hydraulisch filter:

Dit type filter, dat ook wel hydraulisch-dicht wordt genoemd, kan toegepast worden in constructies waarbij de belastinggrootte op het filter bekend is. Hierbij wordt belastingafhankelijk ontworpen en zijn de openingen in het filter groter dan bij de geometrisch dichte methode, doch de maatgevende belasting is te gering om de benodigde krachten te genereren, die tot erosie van het filter leidt.

Dit type filter kan uit economische overweging toegepast worden voor filterconstructies, die onderhevig zijn aan stationaire- en semistationaire verhangen.

ad.c Transportfilter:

Dit type filter, dat zich nog volop in een ontwikkelingsfase bevindt, is gebaseerd op het in bepaalde mate toelaten van materiaaltransport. Bij dit in beperkte mate toestaan van transport wordt gebruik gemaakt van zelfregulerende mechanismen. Namelijk het getransporteerde materiaal uit de basislaag (ondergrond) komt in het filter terecht dat een andere doorlatendheid heeft. Het verhang is daar kleiner, zodat de sleepkracht op de korrel verminderd wordt, en hierdoor een stabiele eindsituatie ontstaat.

Op dit moment vindt uitgebreid onderzoek en studie plaats naar een probabilistische aanpak van dit filtertype, waarbij ernaar wordt gestreefd, door koppeling van materiaaltransport aan zettingen, de schade getalsmatig vast te kunnen stellen.

Dit type filter, dat economisch en uitvoeringstechnisch aantrekkelijk kan zijn, kan zijn toepassing vinden in constructies waarbij enige zetting toelaatbaar is.

4.6.3.2 Materiaaleisen

De hydraulische eigenschappen en de sterkte-bepalende parameters van de in hoofdstuk 4.6.3.1 beschouwde filters, zijn afhankelijk van de materiaalkenmerken en de laagdikte van het filtermateriaal. Het gaat hierbij om karakteristieke openingsgrootten (bij geotextielen), steilheid van de korrelverdeling en de duurzaamheid en sterkte van de toe te passen materialen.

Het gedrag van een filter hangt in het geval van granulaire filters enerzijds af van de mate van stabiliteit van het grensvlak en de interne stabiliteit, en anderzijds van de waterdoorlatendheid. (zie hoofdst. 4.5)

De mate van stabiliteit kan beoordeeld worden op basis van de volgende criteria: (zie ook hoofdst. 4.6.3.1)

- geen toelaatbaar transport (geometrisch criterium)
- beperkt toelaatbaar transport (hydraulisch criterium)
- aanzienlijk toelaatbaar transport (transport criterium)

Voor de te hanteren ontwerpregels voor de beide eerst genoemde criteria, wordt verwezen naar literatuur 7. Rekenregels voor het transport-criterium zijn momenteel in ontwikkeling, maar nog niet bruikbaar.

Uit de rekenregels volgens literatuur 7, volgen de onderstaande ontwerpisen:

- * de verhouding tussen de korrelgrootte van het basismateriaal en die van het filtermateriaal. Deze verhouding wordt meestal uitgedrukt in een zogenaamde filterkarakteristiek. Ter toelichting worden in de bijlagen 2 en 3, voor het geometrisch, en hydraulisch-criterium, ontwerpgrafieken gepresenteerd, waarin:

D_x = korreldiameter van het grove materiaal waarbij x gewichtsprocent van de deeltjes van de sortering een kleinere diameter heeft.

d_x = idem als D_x , doch dan voor het materiaal van de onderliggende laag of het basismateriaal.

n_f = poriëngehalte van het materiaal.

$i_{kr.}$ = kritiek verhang.

- * Ter waarborging van de interne stabiliteit van het materiaal geldt als algemene eis: $d_{60f} \leq 10 \cdot d_{10f}$, waarin;
 d_{xf} = korreldiameter van het filtermateriaal waarbij x gewichtsprocent van de deeltjes van de sortering een kleinere diameter heeft.

Een andere methode voor de bepaling van de interne stabiliteit kan plaatsvinden op basis van het F-H diagram (zie Lit. 11). Hierin is F de fractie van de massa van de korrel kleiner dan een zekere diameter D, terwijl H de fractie is die tussen D en 4D in ligt (F+H is dus de fractie kleiner dan 4D).

Uit het F-H diagram kan het kritiek verhang worden bepaald (zie bijlage 4).

- * Voor een goede waterdoorlatendheid moet het filter voldoen aan: $d_{20f} \geq 4 \text{ à } 5 \cdot d_{20b}$, waarin;

d_{20f} = korreldiameter van het materiaal waarbij 20 gewichts procent van de deeltjes van de sortering een kleinere diameter heeft.

d_{20b} = idem als d_{20f} , doch van het basismateriaal.

4.6.3.3 Laagdikte-eis.

Om als filterlaag te kunnen functioneren moet de laagdikte zodanig zijn, dat er een aaneengesloten laag materiaal wordt gevormd. Bij lichte sorteringen, (zie hoofdst.3.3) toe te passen als filterlaag, geldt als eis een minimum laagdikte van 1.5 à 2*D50 van de sortering.

De fijne sorteringen, waarvoor theoretisch de zelfde laagdikte-eis geldt, wordt een meer praktische minimum laagdikte van 10 à 20*D50 aanbevolen.

4.6.4 Ontwerpeis lengte bodemverdediging.

In hoofdstuk 4.5.6 zijn de grenswaarden voor zowel het optreden van een zettingsvloeiing als voor een afschuiving gegeven. Indien een dergelijke instabiliteit zich voordoet, zal de grond onder de bodemverdediging plaatselijk wegvloeien of afschuiven. Hierdoor wordt de bodemverdediging plaatselijk beschadigd, waardoor het onderliggende zand bloot wordt gesteld aan de eroderende werking van de stroom, met als gevolg een terugschrijdende erosie, die uiteindelijk de hoofdconstructie zelf zou kunnen ondermijnen.

Het verloop van het ontgrondingsproces ter plaatse van de rand bodemverdediging is met name afhankelijk van de aard en sterkte van het aanwezige bodemmateriaal, de turbulentie-intensiteit, de waterdiepte, de geometrie van de waterloop en de te bouwen of aanwezige constructie en de tijdsduur van de stroombelasting. In literatuur 2 en 6 worden relaties gegeven voor het kunnen bepalen van de maximale kuildiepte H_{max} en de aanzethelling $\cotg. \beta$. Uit deze formules blijkt, dat voor zowel de kuildiepte als de aanzethelling van de kuil, de dimensieloze ontgrondingsfactor α een overheersende rol speelt. Deze factor moet gezien worden als een vergrotingsfactor van de gemiddelde stroomsnelheid U . Op deze wijze wordt rekening gehouden met de invloed van turbulentie op de transportcapaciteit. Deze α -factor, die voor verschillende geometriën door modelonderzoek is vastgesteld, kan bij vergelijkbaar te bouwen constructies als ontwerpparameter gehanteerd worden. Echter voor afwijkende geometriën zal deze factor door middel van modelonderzoek of literatuurstudie vastgesteld dienen te worden.

De lengte van de bodemverdediging is van invloed op de waarde van de ontgrondingsfactor α . Door de aanwezigheid van de bodemverdediging treedt er een uitdemping van de turbulentie en een afname van de stroomdnelheid op. Uit de resultaten van de verschillende ontgrondingsonderzoeken is de volgende relatie tussen α en de lengte L van de bodemverdediging af te leiden:

$$\alpha (L/h_0) = 1,5 + (1,57 \alpha_{10} - 2,35) e^{-0,045 L/h_0}$$

Hierin is:

L = lengte bodemverdediging (m)

α_{10} = waarde van α behorend bij $L=10 \cdot h_0$ (-)

h_0 = oorspronkelijke waterdiepte (m)

Gezien de onzekerheden en het risico omtrent het optreden en gedrag van een zettingsvloeiing of afschuiving, wordt aanbevolen; het voorkomen van dergelijke instabiliteiten ter plaatse van de rand bodemverdediging als ontwerpcriterium te kiezen. Hiervan uitgaande en zodoende de veiligheid van de hoofdconstructie te garanderen, is de minimaal benodigde lengte van de bodemverdediging gelijk aan:

$$\text{Lengte bodemverdediging} \geq (n_s - \cotg \beta) h_{\max.}$$

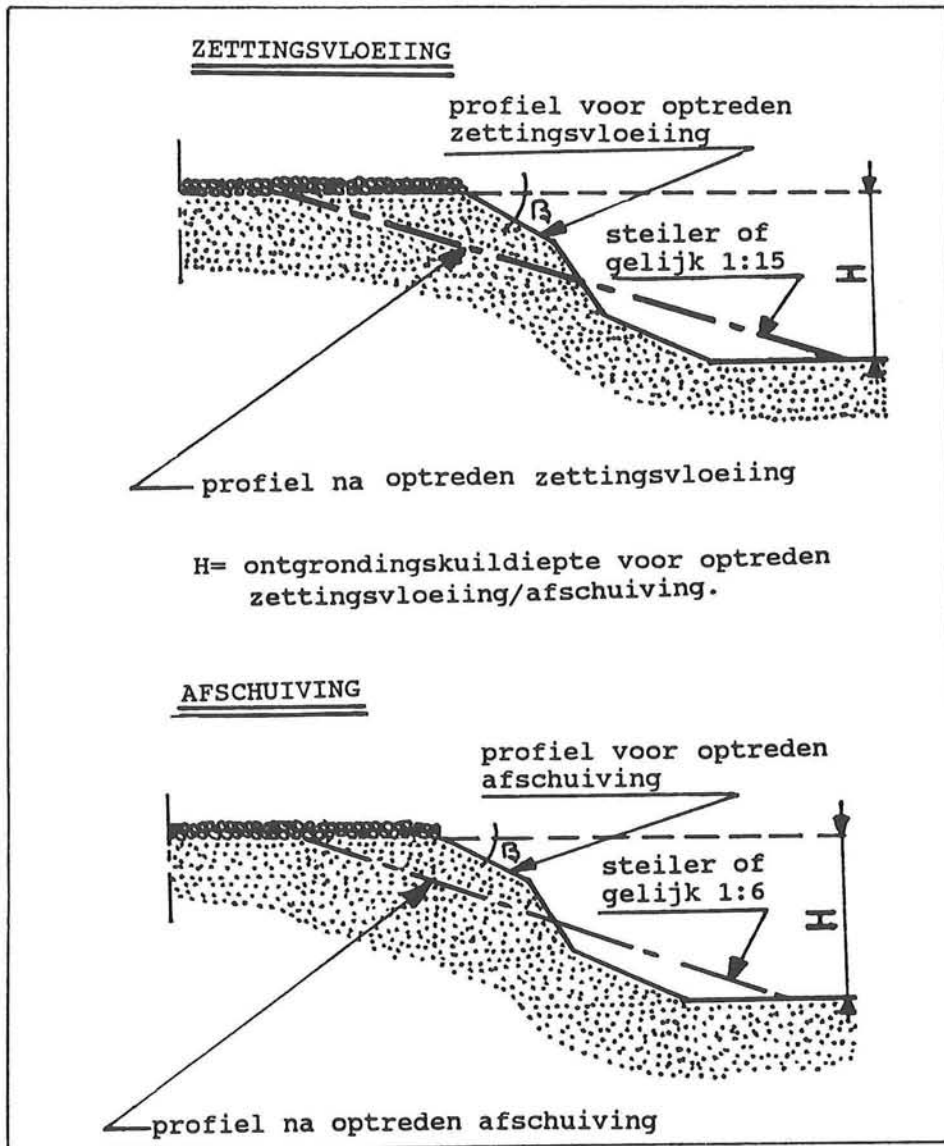
Hierin is:

n_s = gemiddelde eindhelling van het schadeprofiel bij zettingsvloeiing 15 (1:15) en bij afschuiving 6 (1:6).

$h_{\max.}$ = maximale ontgrondingsdiepte (m)

β = aanzethelling ontgrondingskuil, waarvoor als benadering de waarde gelijk aan twee genomen kan worden.

In figuur 4.3 wordt dit nader aangegeven.



Figuur 4.3 Schadecriteria voor zettingsvloeiing en afschuiving

4.6.5 Duurzaamheid- en sterkte-eisen van het materiaal

In algemene zin hebben bovengenoemde eisen als doel het waarborgen van de functie-ervulling gedurende de geeiste levensduur van de constructie. Een constructieonderdeel is onvoldoende duurzaam wanneer de voortdurende aanwezigheid van belasting, (hydraulisch, mechanisch of chemisch) binnen de gestelde levensduur van de constructie, leidt tot verslechtering van de constructie-eigenschappen.

Voor wat betreft de toplaag stellen de ontwerperegels bepaalde eisen aan de ΔD_n -waarde (zie hoofdst. 4.6.2). Om deze ΔD_n -eigenschappen als functie van de tijd in aanvaardbare mate te behouden, moet het materiaal voldoende duurzaam zijn. Dit betekent dat het materiaal een zekere chemische bestendigheid moet bezitten en dat, in verband met de waterdoorlatendheid en de flexibiliteit, niet te veel verkitting van het materiaal op mag treden.

Op de tussenlagen zijn dezelfde eisen van toepassing als die gelden voor de toplaag. De eisen zijn toegespitst op het behoud van de korrelverdeling en de doorlatendheid gedurende de levensduur. Bij toepassing van geotextielen zijn er naast de hydraulische eisen ook nog lange-termijn-mechanische en chemische eisen waaraan moet worden voldaan. (zie lit. 7)

Bij gebruik van granulaire materialen in combinatie met een geotextiel, dient er tevens rekening gehouden te worden met het feit, dat er chemische interacties tussen beide materialen op kunnen treden, waardoor de sterkte van de materialen af kan nemen.

4.7 **Relatie tussen ontwerpeisen en de uitvoering**

4.7.1 Inleiding

Bij het ontwerpen van een verdedigingsconstructie is het van belang dat de ontwerper inzicht heeft in de mogelijkheden van de verschillende uitvoeringsmethoden. Een ontwerp dient in elk stadium getoetst te worden aan de uitvoerbaarheid hiervan en bij de vertaling van de eisen vanuit het ontwerp (inclusief toleranties) naar uitvoeringstechnische eisen, moet rekening worden gehouden met de mogelijkheden die de uitvoeringsmethodiek biedt.

Door transport, fabricage en aanleg zullen de daadwerkelijke eigenschappen van het granulair materiaal afwijken van de theoretische. In het ontwerp dient hiervoor een zeker tolerantiegebied gereserveerd te worden. In de uitvoeringsfase kan de beschikbare tolerantie vervolgens verdeeld worden over de drie genoemde consumenten. Op deze wijze kan door bijvoorbeeld het stellen van eisen aan fabricage (winning), transport en opslag, een relatief grote tolerantie beschikbaar komen voor het uiteindelijke aanbrenge (storten) van het materiaal. Een zekere mate van ontmenging en uitspoeling van materiaal tijdens de aanleg van de constructie, kan dan geaccepteerd worden.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de te stellen kwalitatieve eisen aan de uitvoering, die relevant zijn voor het waarborgen van een goede kwaliteit van het op te leveren product. Voor de te stellen eisen aan het stortproces wordt verwe-

zen naar hoofdstuk 10.

4.7.2 Dichtheid van het materiaal

De dichtheid van het materiaal kan variëren doordat bijvoorbeeld bij breuksteen, die gewonnen wordt in een steengroeve, gebieden aanwezig kunnen zijn met een relatief grote spreiding in de dichtheid. Bij slakken kan deze variatie zich voordoen door bijvoorbeeld een verandering in het fabricageproces. De eis moet daarom gesteld worden, dat regelmatig aan de oorsprong gecontroleerd en gekeurd wordt op de dichtheid van het materiaal. Voor een beschrijving van de hier bedoelde keuringsprocedure wordt verwezen naar hoofdstuk 11.3.2.4.

4.7.3 Diameter en gradering van het materiaal.

Buiten de eisen, die aan de korrelverdeling van de sortering gesteld worden, moet rekening worden gehouden met het feit, dat het materiaal tijdens het transport en overslag kan verfijnen. Om de invloed van deze verfijning zo gering mogelijk te doen zijn, kan de eis worden gesteld dat zo dicht mogelijk op het tijdstip en de plaats van verwerking gekeurd dient te worden. In ieder geval zodanig, dat nadien weinig handelingen meer noodzakelijk met het materiaal.

Verandering in de gradering kan optreden door uitspoeling en ontmenging van fijnere deeltjes. Hiertegen kan geëist worden dat alleen bij zeer lage stroomsnelheden wordt gestort (kenteringsvenster in getijgebieden).

Ter voorkoming van ontmenging, dient ook een eis te worden gesteld aan de depotvorming, voor wat betreft opbouw in horizontale lagen, hoogte en taludhelling, en het aantal handelingen die met het materiaal mogen plaatsvinden.

4.7.4 Laagdikte

Uitgaande van de minimum vereiste laagdikte zal aan de hand van een te kiezen stortmethodiek, een praktisch te storten hoeveelheid materiaal per eenheid van oppervlak vastgesteld dienen te worden. Met andere woorden: de onzekerheid in de uitvoering, zoals bijvoorbeeld de onregelmatigheid in het bresgedrag, zal bij de ontwerpmaat van de laagdikte moeten worden ingekalkuleerd. Deze onzekerheid in de praktisch aan te brengen hoeveelheid materiaal is o.a afhankelijk van het type stortschip waarmee de bestorting wordt aangebracht, het bresgedrag van het materiaal en zeker niet als laatste de te hanteren stortstrategie.

Voor de uitvoering is het praktisch onmogelijk om aan een vaste laagdikte te voldoen, daarom moeten er grenzen worden gesteld, waarbinnen de laagdikte zich mag bewegen, de zogenaamde laagdiktetoleranties. Dit impliceert dat de laagdikte qua gemiddelde en minimum gedefinieerd moet worden, zodat bij overschrijding van de minimum vereiste laagdikte overgegaan kan worden tot afkeur van een stort. Echter om het gebruik van materiaal zoveel mogelijk te beperken, dient in het bestek eveneens de maximum laagdikte gedefinieerd te worden.

Indien de constructie het toestaat dat kale plekken acceptabel

zijn, moet duidelijk de toelaatbare omvang aangegeven worden. Om een goede aaneengesloten materiaalverdeling over het stortvak te verkrijgen, dienen eisen te worden gesteld aan de regelmaat van verhalen, het aantal uit te voeren verhaalslagen, het bresgedrag van het stortschip en de wijze van storten. Tevens dienen eisen te worden gesteld aan het in te zetten plaatsbepalingsstelsel en de kenmerkende eigenschappen van het stortschip, zoals manoeuvreerbaarheid en schuifsnelheid e.d. Deze aspecten worden uitvoerig behandeld in de volgende hoofdstukken.

Wanneer een bestortingsconstructie uit meerdere lagen wordt opgebouwd, en er enig tijdsverloop is tussen het aanbrengen van de opeenvolgende lagen, kan zich sediment afzetten op de reeds gestorte laag. Hierdoor bestaat de kans dat er een zodanige hoeveelheid sediment ingesloten wordt, dat dit uit oogpunt van functionering (filterregels) ontoelaatbaar is. Daar de opvolgende filter- of top laag niet zand- en slibdicht is, bestaat het gevaar dat onder een zekere belasting het sediment erodeert, met als gevolg ongewenste zettingen. Vooral een mengsel van zand en slib heeft, afhankelijk van de onderlinge verhouding, de eigenschap dat het snel kan consolideren, waardoor een slechte waterdoorlatendheid ontstaat, zodat de filterfunctie teniet kan worden gedaan. In verband hiermee dienen eisen te worden gesteld aan de mate waarin sediment mag voorkomen en zal het bestortingsproces hierop afgestemd dienen te worden.

4.7.5 Sterkte van de materialen

Wanneer het ontwerp aan de gestelde randvoorwaarden voldoet, zal de sterkte van de constructie onder andere afhangen van de kwaliteit van de toegepaste materialen.

Dit houdt in dat de kwaliteit van het materiaal, tijdens het aanbrengen en tijdens de gehele levensduur van de constructie, onveranderd moet blijven.

Nadat de materialen zijn geproduceerd vinden er een aantal handelingen plaats voordat zij in de constructie worden verwerkt. Deze handelingen zijn o.a. verladen, transport, opslag, verladen en verwerken.

Tijdens al deze handelingen kan verfijning door breuk optreden. In bepaalde gevallen kan deze afname, die de "hierom-daarom" factor wordt genoemd, zelfs een afname van 5 à 10 % van de nominale steendiameter betekenen (zie lit. 4).

Het is daarom belangrijk dat de sterkte en breukgevoeligheid van de materialen bekend is, zodat deze "hierom-daarom" factor bepaald kan worden, waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden, door een zekere mate van verfijning in de veiligheidscoëfficiënt of in de spreiding op te nemen. Voor de uitvoering geldt, dat bepaalde eisen aan de verwerking worden gesteld, zoals beperking van de valhoogte en het zoveel mogelijk beperken van het aantal handelingen met het materiaal.

4.7.6 Ontmenging tijdens het storten

Bij het storten in stilstaand of stromend water, kan ontmenging optreden op de weg die het materiaal ondergaat vanaf het stortschip tot op de bodem. Dit wil zeggen dat de fijnere delen uit

het mengsel op een andere plaats terecht komen dan de grovere delen. Wanneer dit verschijnsel optreedt, voldoet de sortering niet langer aan de door de filterregels opgelegde graderingsnorm.

Deze ontmenging kan tijdens het stortproces op twee manieren optreden, te weten:

1. Verschil in valsnelheid, waardoor grovere korrels eerder de bodem bereiken dan de fijnere korrels (stilstaand water).
2. Verschil in horizontale uitwijking bij het storten in stromend water (zie hoofdst. 6.2.3).

ad.1 Bij het storten in stilstaand water is enkel het verschil in valsnelheid (w) van de korrels van belang;

$$W^2 = 4/3 * \frac{Dn}{C} * g$$

Waarin:

W	= valsnelheid	(m/s)
Δ	= relatieve dichtheid materiaal	(-)
D_n	= nominale steendiameter	(m)
g	= versnelling zwaartekracht	(m/s ²)
C	= coëfficiënt	(-)

Voor een invulling van deze parameters wordt verwezen naar hoofdstuk 6.2.3.

De verhouding tussen de valsnelheid van de grove korrel (W_g) en van de fijne korrel (W_f) volgt uit:

$$W_f/W_g = (D_{fijn}/D_{grof})^{0,5}$$

De consequenties hiervan worden in een voorbeeld verduidelijkt. In tabel 4.3 wordt bij een waterdiepte van 20 m, voor de sortering 40-250 mm, de valsnelheid en valtijd weergegeven.

steengrootte (mm)	valsnelheid (m/s)	valtijd (s)
40	1,3	15
250	3,2	6

tabel 4.3

De storttijd van de totale lading van een stortschip bedraagt ca. 15 à 30 minuten (schuifsneldheid 0,4 à 0,2 m/min). Dit is een orde langer dan de valtijd. Het zal duidelijk zijn dat de plaats van de steen in de uiteindelijke bestortingslaag, wordt bepaald door zijn plaats op het schip (dichtbij of veraf van het stortpunt) en niet door zijn diameter. Met andere woor-

den; de invloed van het verschil in diameter op de ontmenging bij het storten in stilstaand water is te verwaarlozen.

ad.2 Bij het storten in stromend water (zie hoofdst.6.2.3) vindt ontmenging plaats door het verschil in de horizontale uitwijking van de fijnere en grovere deeltjes van het mengsel. Uit de tabel 6.1 blijkt dat, vooral bij het "dwars op stroom" storten van gegradeerde mengsels, de kans op ontmenging erg groot is. Eigenlijk zou het storten van breed gegradeerde mengsels enkel plaats moeten vinden op stilstaand water. Een andere mogelijkheid is om dergelijke mengsels, die vaak toegepast worden in tussenlagen van filterconstructies, te storten via een andere stortmethodiek, zoals pijpstorten of het verpakt storten.

Bovenstaande in acht nemend, moet als eis gesteld worden dat binnen een bepaald stroomsnelheidsvenster (kentering) gestort moet worden. (zie hoofdst. 10.2.4)



Positionering schuifstort voor aanbrengen drempelconstructie Stormvloedkering Oosterschelde.

HOOFDSTUK 5

STORTMATERIEEL EN PLAATSBEPALING

5.1 Stortmaterieel

5.1.1 Algemeen

Het aanbrengen van "dunne" lagen steenachtige materialen, te storten vanaf de waterlijn, stelt hoge eisen aan het in te zetten materieel.

De dosering van het stortmateriaal en het beheerst manoeuvreren van het stortschip zijn hierbij essentieel voor het verkrijgen van een gelijkmatigheid in de aan te brengen laagdikte.

In het kader van de Deltawerken, waarbij hoge eisen aan de bestortingen werden gesteld en de grote hoeveelheden die verwerkt moesten worden, is veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van het mechaniseren en optimaliseren van het gedoseerd storten van loskorrelige materialen. Een aantal van deze systemen, die in min of meerdere mate geschikt zijn voor het aanbrengen van "dunne" lagen, worden in dit hoofdstuk behandeld. Tevens wordt globaal ingegaan op de verschillende in aanmerking komende plaatsbepalingssystemen en hun specifieke toepassingsmogelijkheden.

5.1.2 Overzicht verschillende principes

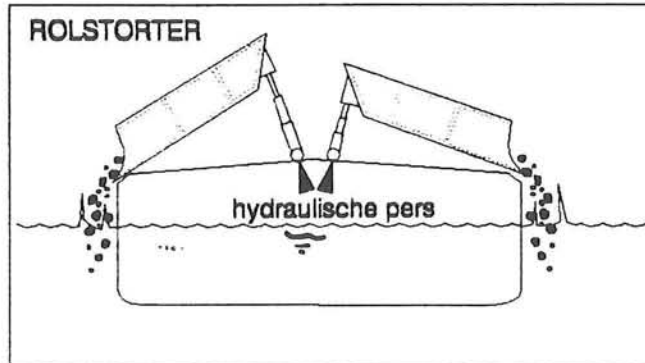
Voor het storten van steenachtige materialen vanaf de waterlijn, komen de volgende principes in aanmerking:

- a. Een systeem, waarbij de lading steen zijdelings vanaf het laaddek wordt verplaatst, om op een dergelijke manier de steen zo gedoseerd mogelijk het schip te doen verlaten (zijstorter).
- b. Een systeem waarbij door het openen van het beun, de steen het schip aan de onderzijde verlaat (splijtbak).

ad a. Voor het onder a. bedoelde systeem komen de volgende typen stortschepen in aanmerking:

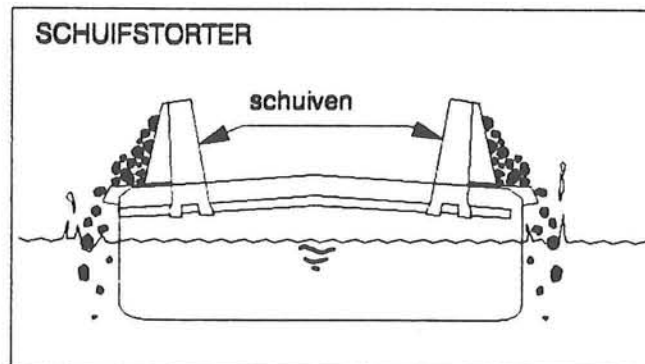
1. De "Rolstorter"

Dit principe bestaat uit een aantal op het dek bevestigde steenbakken, welke aan de gangboorden scharnierend zijn bevestigd. De bakken worden hydraulisch gekanteld, zodat de steen op de aan de langs zij aangebrachte "kamrollen" wordt gestort. Deze aangedreven rollen storten de steen over boord en doseren daarbij de steen.



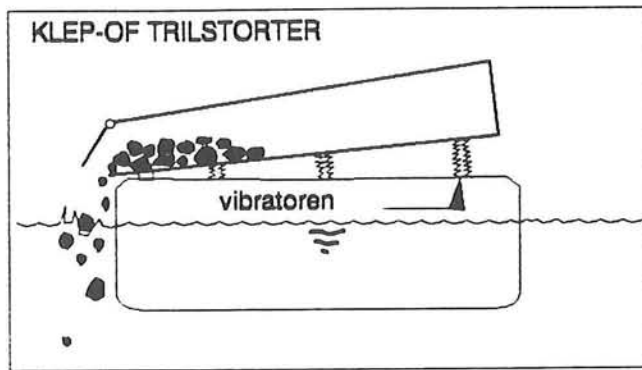
2. De "Schuifstorter"

In plaats van het kantelen van de steenbak, zoals bij de rolstorter, wordt bij dit type gebruik gemaakt van schuiven. Hier-
toe zijn een aantal verticale schuiven in de lengte-as van het
vaartuig opgesteld, welke synchroon of afzonderlijk van elkaar,
de steen vanaf het laaddek schuiven.



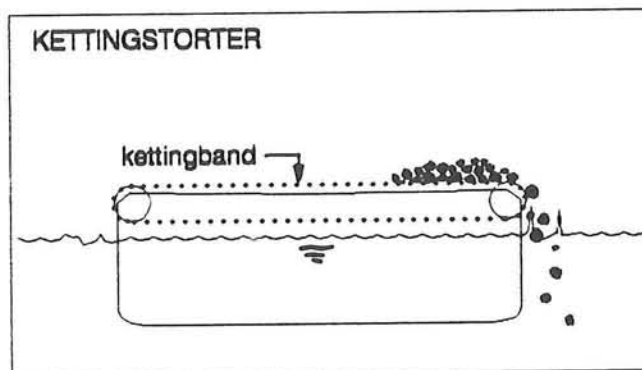
3. De "Klep- of trilstorter"

Bij dit principe gaat de steen aan één zijde overboord.
Hiervoor zijn een aantal bakken onder een helling van ca. 5 gra-
den opgesteld, die middels kleppen afgesloten worden.
Onder deze bakken zijn een aantal vibratoren bevestigd, die na
het openen van de kleppen, de steen over boord trillen.

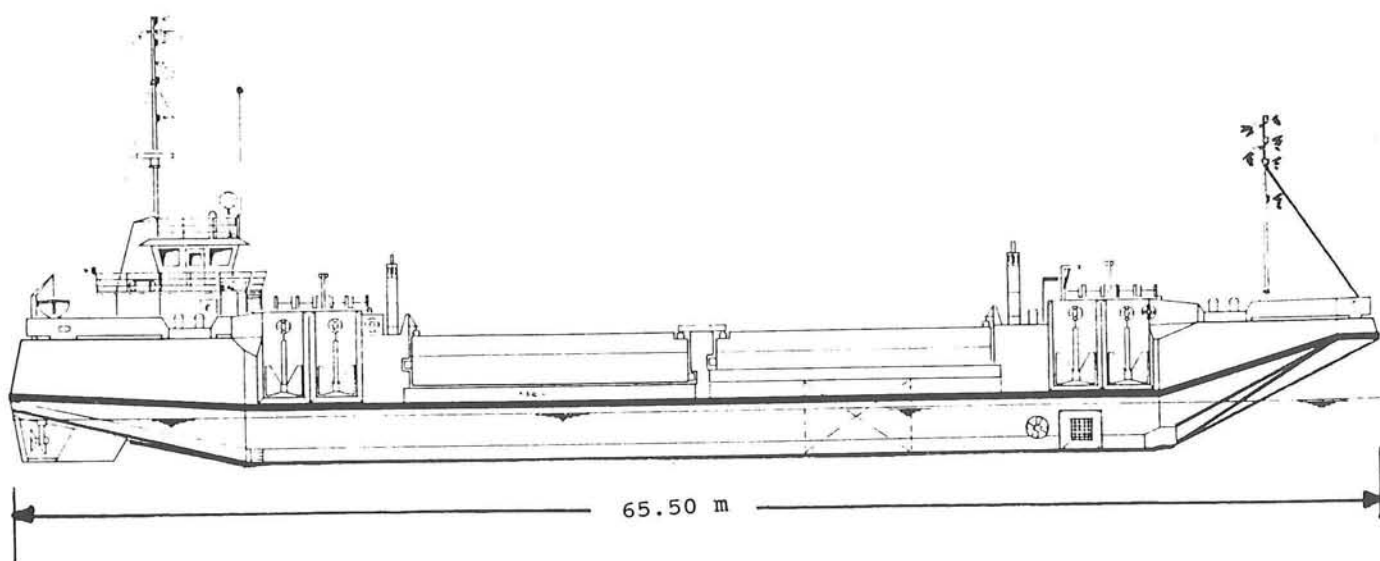


4. De "Kettingstorter"

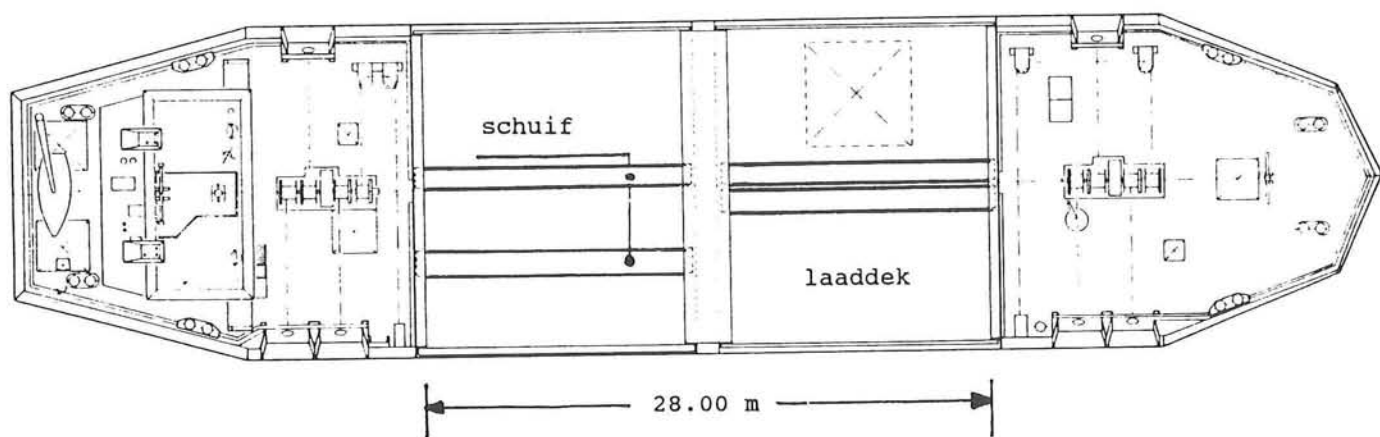
Bij dit principe is het dek voorzien van een stalen frame waarin een zogenaamde kettingmeenemer is gemonteerd. De meenemers zijn loodrecht op de lengte-as van het schip opgesteld en worden aldus bewogen, waarbij de op het dek rustende meenemer de steen van het dek afschuift.



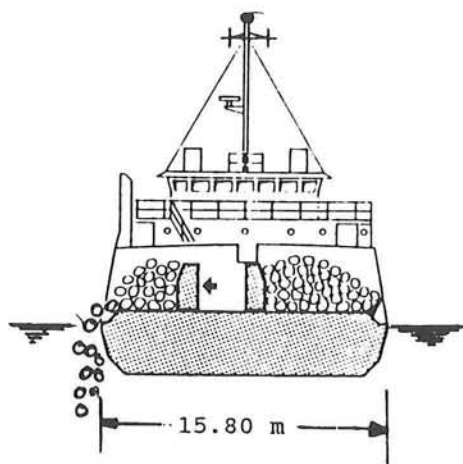
Van de hiervoor genoemde zijstorters worden tegenwoordig de schuif- en kettingstorter het meest toegepast als stortmiddel. Deze zijn in het algemeen ontworpen met ruime werkdekken, vrij van dwarsscheepse staalconstructies en speciaal ingericht voor het gelijkmatig storten van grind, slakken en breuksteen. De lading wordt hierbij gelijkmatig overboord geschoven door middel van hydraulisch aangedreven schuifschotten of kettingmeenemers. De beladingscapaciteit van dit in Nederland voorhanden zijnde materieel, varieert van 200 tot ca. 3500 ton. In verband met de te stellen eisen aan de positionering, het manoeuvreren en de voortstuwing, zijn deze schepen vaak uitgerust met schotel-propellers, waarvan de stuwkracht in richting en grootte, nauwkeurig ingesteld kan worden. In fig. 5.1. wordt een boven- en zijaanzicht en een dwarsdoorsnede van één van de vele in bedrijf zijnde zijstorters weergegeven.



zijaanzicht



bovenaanzicht



dwarsdoorsnede

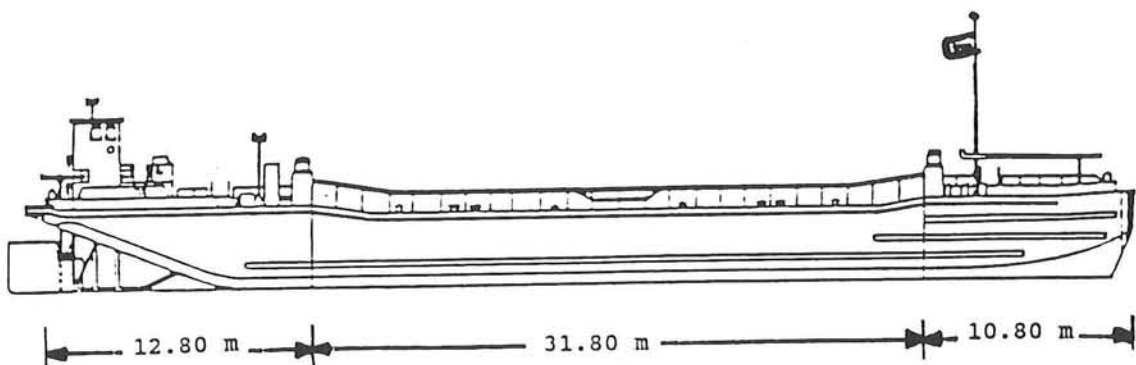
fig. 5.1 zijstorter

ad b. De splijtbak

Een andere methode voor het aanbrengen van "dunne" lagen is mogelijk met een zogenaamde splijtbak. Dit type stortmiddel, waarbij het stortmateriaal via de onderkant van het beun het schip verlaat, wordt met name toegepast voor het aanbrengen van kernbestortingen, zoals kaden en drempels e.d. Echter in bepaalde situaties, waarbij minder strenge eisen worden gesteld aan de vlakheid en de regelmatige verdeling van de aan te brengen bestortingslaag, kan dit type storter een redelijk alternatief zijn voor het storten van dunne lagen. Bij het "strooiend" aanbrengen van loskorrelige materialen, zoals gebruikelijk bij de opbouw van "dunne" lagen, gelden voor de splijtbak een aantal beperkingen ten aanzien van:

- Gradering en vormgeving van het materiaal: ter voorkoming van brugvorming (zie hoofdst. 6.2.2 ad.a) mag het te storten materiaal niet te breed zijn gegradeerd (verhouding D10/D90) en mag de haakweerstand van de korrels niet te groot zijn.
- D50 van het stortmateriaal: de beunopening moet zodanig afgesteld zijn, dat binnen een vast te stellen storttijd (stortvaklengte), een zo continue mogelijke stroom materiaal het schip verlaat. De praktijk leert, dat materiaal tot een D50 van ca. 0,20 m, de maximale grootte is tot waarbij nog "strooiend" kan worden gestort.
- Voortstuwing: het merendeel van de in gebruik zijnde splijtbakken beschikken niet over een eigen voortstuwing. Hierdoor kan de splijtbak enkel toegepast worden in combinatie met een afmeer- c.q. verhaalponton.

In fig. 5.2 wordt een zijaanzicht en dwarsdoorsnede van een splijtbak gegeven.



zijaanzicht

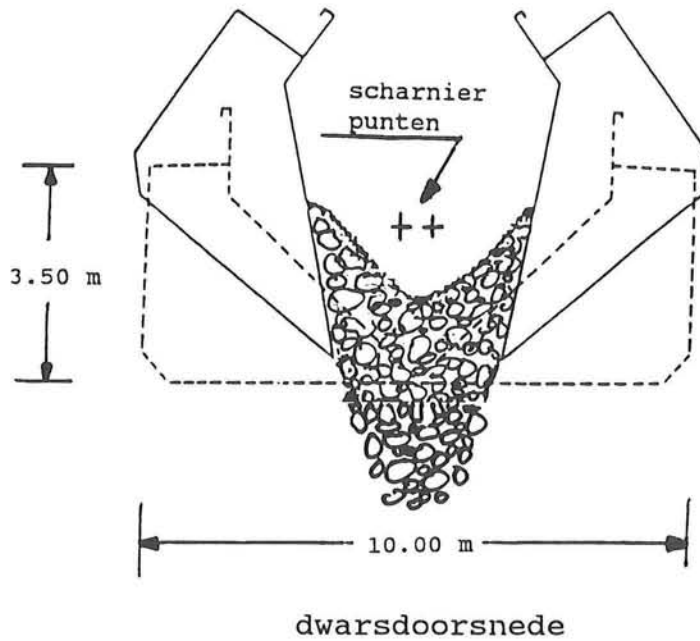


fig 5.2 splitsbak

5.1.3 Positioneer- en verhaalmethoden

Afhankelijk van de benodigde flexibiliteit van het stortbedrijf, de beschikbaarheid van materieel, omgevingscondities en de aard van de aan te brengen constructie, kunnen de volgende positioneer- en verhaalsystemen toegepast worden.

a. **Zelfpositionerende schepen:**

Dit zijn schepen die uitgerust zijn met een plaatsbepalingssysteem en die zodanig manoeuvreerbaar zijn dat ze zonder de hulp van sleepboten of afvierpontons zichzelf kunnen positioneren en zich al stortend (dwarsuit) kunnen verplaatsen. De stornauwkeurigheid van dit type schepen is sterk afhankelijk van het plaatsbepalingssysteem en de manoeuvreerbaarheid en de wijze van voortstuwing.

b. **Ponton in combinatie met stortschip:**

Een andere methode dan onder a, is het systeem waarbij het stortmiddel gekoppeld wordt aan een afmeer- en/of verhaal-ponton.

De plaatsbepaling en/of het manoeuvreren van de combinatie wordt hierbij bewerkstelligd door de op ankerdraden afge-meerde ponton.

In fig. 5.3. worden een tweetal mogelijkheden aangegeven, waarbij bij b_1 de ponton de functie heeft van zowel afmeer-, positioneer- en verhaalponton, terwijl bij b_2 de ponton enkel dienst doet als afmeer- en positioneerponton.

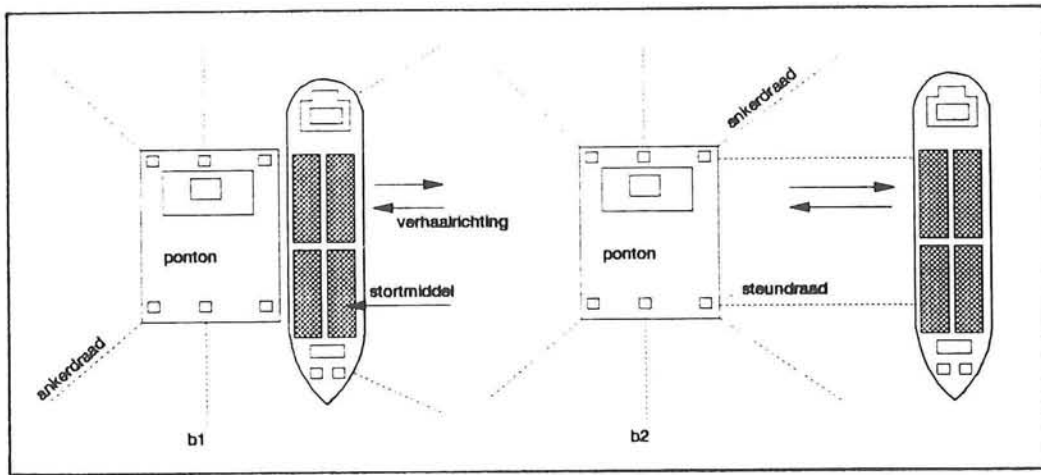


fig. 5.3 ponton in combinatie met stortschip

5.2 Plaatsbepaling stortschip

5.2.1 Inleiding

Voor het positioneren van het stortschip wordt gebruik gemaakt van een plaatsbepalingssysteem. Dit systeem bestaat uit een in de lucht werkend meetmiddel en levert de X- en Y-positie van het stortschip op.

Afhankelijk van de vereiste positioneringsnauwkeurigheid van het schip en de opstelmogelijkheden (afstand meetmiddel tot schip en eventuele obstakels) van de meetapparatuur, kan gebruik gemaakt worden van een optisch of radiografisch plaatsbepalingssysteem. De koers en de slagzij van het stortschip worden gemeten met respectievelijk een gyrokompas en een inclinometer. Deze sensoren kunnen ingelezen worden door een boordcomputer (bijv. HP 9920) en via een koppeling met de plaatsbepalingsgegevens, kan elk gewenst geometriepunt van het schip berekend en on-line gepresenteerd worden op een beeldscherm.

In deze paragraaf wordt in het kort ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van beide plaatsbepalingssystemen (radiografisch, optisch) en op de bepaling van de meetnauwkeurigheid. Tevens wordt een overzicht gegeven van de kenmerkende eigenschappen van deze in aanmerking komende systemen.

5.2.2 Toepassingsmogelijkheden optisch, radiografisch systeem

Van beide systemen bestaan vele toepassingen. Elk daarvan heeft zijn specifieke karakteristieken. Het kenmerkende verschil tussen beide systemen is de afhankelijkheid van het zicht bij de optische methode en de onafhankelijkheid daarvan bij de radiografische methode. Bij de optische methode kunnen onder gunstige omstandigheden zeer grote nauwkeurigheden, tot zelfs op enkele centimeters, bereikt worden. Bij de radiografische methode blijft altijd een marge van 2 à 3 meter bestaan.

De positionering is verder afhankelijk van de vraag of het in te meten object vaart of stilligt, of er veel neerslag is of golfbeweging, of er hinderlijke reflecties zijn van objecten en van de opstelplaats van de walbakens.

5.2.3 Bepaling meetnauwkeurigheid

Bij de keuze van de bovengenoemde technische systemen en bij het

beoordelen van de meetuitkomsten, speelt de standaardafwijking een belangrijke rol. Afhankelijk van het te maken en te meten werk worden eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van het meetmiddel.

Het is gebruikelijk hiervoor tweemaal de sigma-waarde op te geven. Men gaat er dan vanuit, dat in 95,4 % van de gevallen de afwijking binnen de gestelde grens $\mu + 2\sigma$ valt. De sigma-waarde (standaardafwijking) van een meetmiddel is als volgt te bepalen: (zie figuur 5.4)

- * Meet 100 keer dezelfde afstand en noteer de meetuitkomsten;
- * Bereken de gemiddelde meetuitkomsten (μ);
- * Zoek de meetuitkomsten die het minst van het gemiddelde afwijken;
- * Neem van deze 68 uitkomsten de hoogste waarde en trek daar het gemiddelde vanaf;
- * Dit verschil is de standaardafwijking (σ).



Minilir in combinatie met afstandsmeter "AGA" 112 voor zeer nauwkeurige positiebepaling.

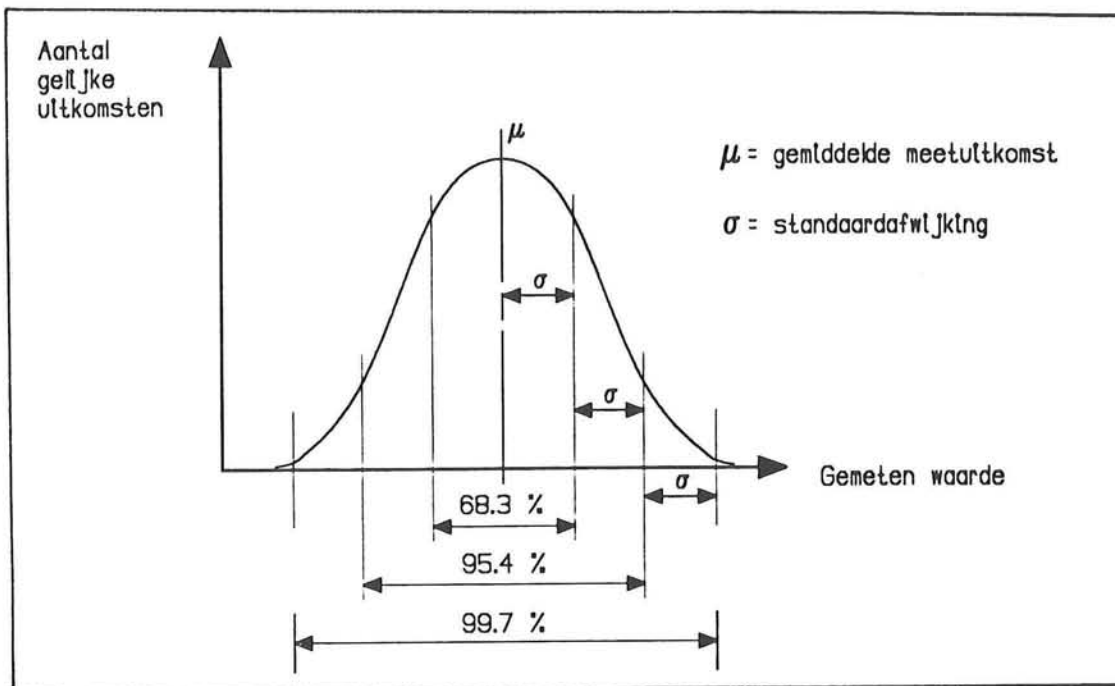


fig. 5.4 Statistische benadering

In tabel 5.1 worden enkele kenmerkende eigenschappen van verschillende plaatsbepalingssystemen weergegeven die geschikt zijn voor de hier bedoelde toepassingen.

Plaatsbepalingssysteem	Kenmerkende eigenschappen	
	data verversingstijd	nauwkeurigheid 2 sigma
1. Trident III /miniranger/ falcon/ /trispander/ microfix/ syledis	>1/sec	<5m x,y positie
2. Artemis single-user	>2/sec	0,03 ^{grad} 1m hoek/afstand
3. Artemis multi-user	> 2/sec	1m op max. 200m hoek/afstand
4. minilir/aga	> 3/sec	0,1m/km x,y positie
5. polar fix	> 1/sec	0,5m/km x,y positie
6. raai-sextant	discontinu	1 à 2m/km x,y positie

tabel 5.1

HOOFDSTUK 6

BESCHRIJVING EN ANALYSE VAN HET STORTPROCES

6.1 Inleiding

De uiteindelijke kwaliteit van een te realiseren bestortingsconstructie wordt behalve door het ontwerp, in hoge mate bepaald door de manier waarop de materialen aangebracht worden. De uitvoering zal met een vastgestelde mate van zekerheid moeten kunnen garanderen dat het ontwerp volgens de vastgestelde ontwerp-eisen kan worden gerealiseerd.

Als deze zekerheid niet kan worden gegeven, zal het ontwerp aangepast dienen te worden op de uitvoerbaarheid hiervan. Wanneer het stortmateriaal, zoals aanwezig op het stortschip, voldoet aan de gestelde kwaliteitseisen, wordt de kwaliteit van het eindprodukt hoofdzakelijk bepaald door het stortgedrag van het stortschip en de wijze waarop er wordt gestort, de zogenaamde stortstrategie.

Tot op heden wordt de kwaliteit van het eindprodukt (gerealiseerde laagdikte) in hoofdzaak vastgesteld op basis van peilingen al of niet in combinatie met duikerinspectie en sonaropnamen. Hierbij wordt de laagdikte gedetecteerd door het verschil tussen de uit te voeren in- en uitpeiling (verschilpeiling). Men moet echter bedenken dat, gezien de meetnauwkeurigheid van het peilmiddel, niet al te veel waarde aan de gevonden absolute laagdikte gehecht kan worden. Om voor de lichte en zware sorteringen, bij waterdiepten van ca. tien meter en meer, verzekerd te zijn van het feit dat de minimaal benodigde laagdikte aanwezig is, moet vanwege de nauwkeurigheid van het meten, een overdosis aan materiaal gestort worden, wat extra materiaalkosten met zich meebrengt.

In dit handboek wordt ervoor gepleit, om tot een verbetering van de voorspelbaarheid van de kwaliteit van het eindprodukt te kunnen komen, het accent van achteraf meten te verleggen naar de procesmeting.

Door deze procesmeting wordt het proces beter beheerst, zodat het geheel veel doelmatiger wordt. Hiervoor is het echter van belang dat de kwaliteitsparameters van het stortproces bekend moeten zijn. Met andere woorden, welke parameters de kwaliteit van het proces beïnvloeden, zodat vastgesteld kan worden, hoe en in welke mate deze parameters beheerst c.q. gecontroleerd kunnen worden. Deze kwaliteitsactiviteiten monden uit in werkinstructies en keuringen e.d. (zie hoofdstuk 11)

In dit hoofdstuk wordt het stortproces met de hierop van invloed zijnde stortparameters per fase geanalyseerd.

6.2 Fasen in het stortproces

Het storten van granulair materiaal vanaf de waterlijn, met materieel zoals bedoeld in hoofdstuk 5, kan onderscheiden worden in de volgende fasen:

- de positie van het stortschip in de tijd (I);
- het bresgedrag van het stortmateriaal in de tijd (II);

- de verplaatsing van het stortmateriaal boven en eventueel onder water (III);
- de spreiding van het stortmateriaal bij bodemcontact (IV).

Onderstaand wordt elke fase, met de hierop van invloed zijnde relevante procesparameters, nader in beschouwing genomen.

6.2.1 Positie van het stortschip (I)

De positionering in combinatie met het manoeuvreergedrag van het stortschip, is een belangrijke invloedsfactor op de uiteindelijke ligging van het aangebrachte bestortingsveld. De werkelijke positie van het stortschip, en hiermee de plaats waarop de steen overboord valt (bressen), wordt in hoofdzaak bepaald door:

- de nauwkeurigheid van het plaatsbepalingssysteem;
- de verhaalbaarheid van het stortschip;
- de uitwijkingen van het stortschip t.o.v. de theoretische verhaallijn; (manoeuvreergedrag)
- de koers van het stortschip;
- het mogelijke verzetten van het stortschip als gevolg van het lossen van de lading;

Voor de procesbewaking is het van essentieel belang te weten waar het stortschip zich bevindt tijdens het storten van de lading. Het spreekt voor zich, dat de kwaliteit van het gemaakte werk sterk afhankelijk is van de manoeuvreerbaarheid van het stortschip en de nauwkeurigheid waarmee het schip wordt gepositioneerd. (nauwkeurigheid plaatsbepalingssysteem, zie hoofdstuk 5.2)

Bij toepassing van een radiografisch plaatsbepalingssysteem kan door koppeling van een registratiesysteem, de plaats van het stortschip in de tijd bewaakt worden. Door een regelmatige presentatie van deze positioneergegevens kunnen afwijkingen in de koers en de verhaalsnelheid van het stortschip geconstateerd worden, waarop dan bij een goed manoeuvreerbaar schip direct gereageerd en gecorrigeerd kan worden. Tevens biedt een dergelijk systeem het voordeel, dat de geregistreeerde procesgegevens gebruikt kunnen worden voor de kwaliteitscontrole, die direct na het storten aan de wal plaats kan vinden.

6.2.2 Het bresgedrag van het stortmateriaal in de tijd (II)

Het storten (overboord vallen) van materiaal is, als gevolg van alle mogelijke onregelmatigheden in het bresgedrag, geen continu proces. Onder bresgedrag wordt verstaan; de onregelmatigheid in de hoeveelheid materiaal, die per tijdseenheid overboord wordt gezet (bressen), dit onder invloed van het verplaatsen van bijv. de schuif bij een zijstorter en het openen van de beun bij een splijtbak.

Het bresgedrag is met name afhankelijk van de volgende parameters:

- a. eigenschappen van het stortmateriaal;
- b. de beladingsvorm van het stortschip;
- c. het type stortschip; de schuifsnelheid bij een zijstorter en de beunopening bij een splijtbak;
- d. de scheepsbewegingen onder invloed van golven e.d.

In het volgende wordt nader ingegaan op de hierboven genoemde aspecten, die betrekking hebben op de inzet van een schuifstorter en een splijtbak als stortschip.

ad. a Eigenschappen stortmateriaal

Een belangrijke factor voor een regelmatig verlopend stortproces is de hoedanigheid van het te storten materiaal. Met name de korrelafmeting, de breedte van de sortering (verhouding D10/D90) en de hoek van inwendige wrijving, zijn de belangrijkste eigenschappen, die het bresgedrag kunnen beïnvloeden.

* Bresgedrag van materiaal bij gebruik van een schuifstorter

Bij aanvang van het stortproces wordt, door middel van de schuiven, eerst de lading ingedrukt alvorens er materiaal overboord valt. Tijdens het indrukken van de lading bouwt het talud zich aan de stortzijde (zijkant stortschip) steeds steiler op, totdat bij het bereiken van het natuurlijk talud van het materiaal, de stenen overboord beginnen te vallen. Na een begin-onregelmatigheid in de gestorte hoeveelheid materiaal per tijds-eenheid, wordt de gestorte hoeveelheid vrij constant. Echter tegen het eind van het schuifproces neemt de hoeveelheid materiaal af, zodat ook hier een onregelmatigheid in het bresgedrag optreedt.

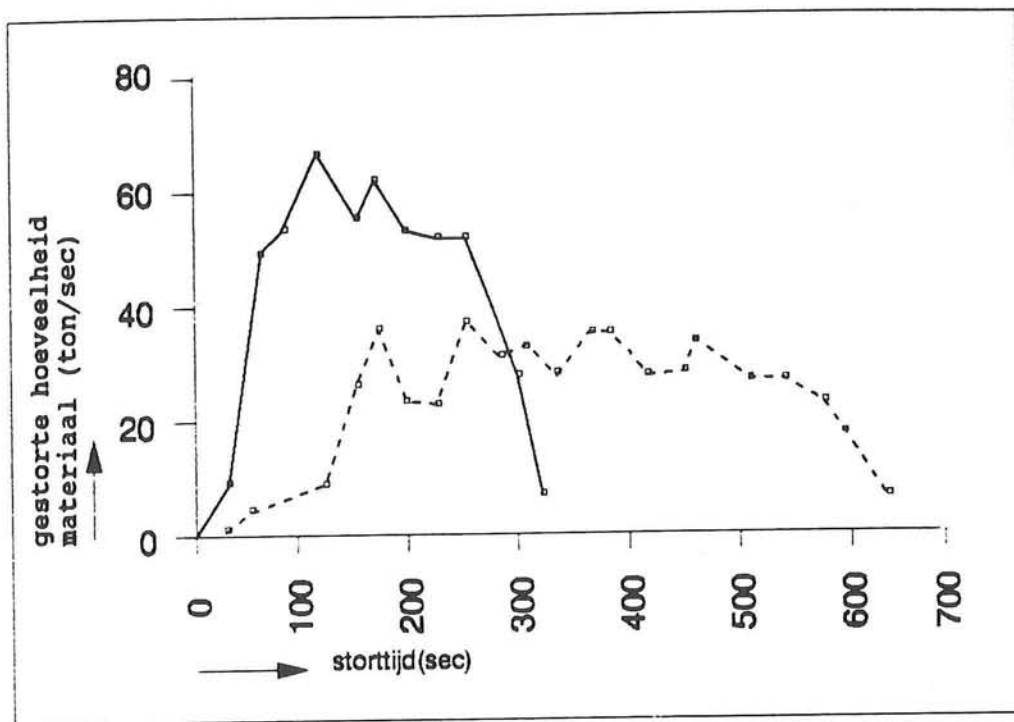
Ter illustratie wordt in figuur 6.1 het bresgedrag voor een halve beladingshoeveelheid (bak- of stuurboordzijde) van ca. 280 ton breuksteen 40-250 mm weergegeven. (Lit. 8)

Deze resultaten zijn voor de totale beladingshoeveelheid cumulatief uitgezet in figuur 6.2, waarbij tevens het verschil is aangegeven, wanneer de sortering 40-250 mm vervangen wordt door een fijner mengsel.

Uit de in figuur 6.2 weergegeven stortkarakteristieken blijkt, dat deze mengselaanpassing nauwelijks effect heeft op het bresgedrag.

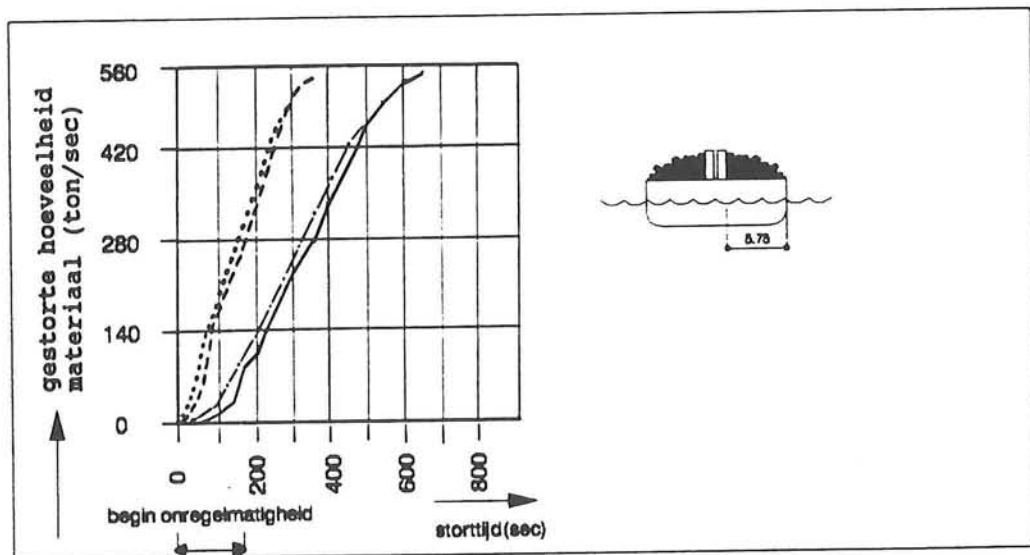
Voorts is de begin- en eind-onregelmatigheid in het bressen aangegeven bij een schuifsnelheid van 0,55 m/min.

Als slotopmerking kan gelden, dat ter verkrijging van een optimale procesbeheersing, de stortkarakteristieken van de te storten materialen per type stortschip van tevoren bekend zouden moeten zijn.



- Gemiddelde uit vijf proeven, bij een schuifsnelheid van 1.10 m/min.
- - - Gemiddelde uit vijf proeven, bij een schuifsnelheid van 0.55 m/min.

Figuur 6.1 Bresgedrag breuksteen 40-250 mm.



- Schuifsnelheid 0.55 m/min.
- . - Schuifsnelheid 0.55 m/min, i.p.v. breuksteen 40-250 mm, fijn grind als stortmateriaal toegepast
- - - Schuifsnelheid 1.10 m/min.
- Idem als bij — . —

Fig. 6.2 Gestorte hoeveelheid materiaal als functie van de storttijd.

* Bresgedrag van materiaal bij gebruik van een splijtbak.

Het storten van materiaal met behulp van een splijtbak vindt plaats via een aan de onderzijde van het stortschip in te stellen beunopening. (zie fig.5.2)

Door een juiste afstemming van deze openingsgrootte van de beun op het te storten materiaal, kan enigszins gedoseerd worden gestort. De materiaaleigenschappen, zoals de breedte van de sortering, de korrelafmetingen en de oppervlaktestructuur (glad, ruw) van de korrels, zijn in hoge mate bepalend voor de regelmaat van het bresgedrag. (zie ook hoofdst. 5.1.2 ad.a)

Met name de materialen, zoals ongesorteerde fosforslakken en mijnsteen e.d. zijn heel gevoelig voor het nadelige effect van brugvorming. Dit verschijnsel, dat op verschillende plaatsen over de lengte van de beun op kan treden, is een gevolg van gewelfvorming van materiaal, dat optreedt onder invloed van de druk van de lading en de onderlinge haakweerstand van de korrels. Hierdoor kan de lading, zonder de beunopening iets te vergroten, niet verder worden gelost.

Brugvorming, dat een nadelige invloed heeft op de regelmaat van het bresgedrag, komt ook ten nadeel van de stortkwaliteit, omdat hier een duidelijke relatie bestaat tussen de verhaalafstand en de storttijd (zie hoofdst. 10.2.3.1).

Uniform gegradeerde mengsels (verhouding D90/D10 2 à 3) met een relatief glad oppervlak, zoals breuksteen en grindmengsels, kunnen tot een D50 van ca. 0,20 à 0,25 m redelijk goed gedoseerd aangebracht worden met behulp van een splijtbak. Hierbij is het echter wel van belang dat, bij het strooiend aanbrengen van dergelijk materiaal, enkele proefstorten worden uitgevoerd, om zodoende de stortkarakteristiek van de verschillende materialen van tevoren vast te kunnen stellen.

ab. b **De beladingsvorm van het stortschip:**

Een andere belangrijke invloedsfactor op het bresgedrag is de beladingsvorm en de gelijkmatigheid waarmee de lading is aangebracht op of in het stortschip. Het zal duidelijk zijn dat een discontinuïteit in de belading, zijn weerslag heeft op de regelmaat van het bressen.

Daarom is het van belang dat de hoeveelheid materiaal gelijkmatig verdeeld wordt over het laaddek, danwel de beun van het schip, en dat over de gehele beladingslengte eenzelfde dwarsprofiel van de materiaalopbouw wordt aangehouden.

ad. c **De schuifsnelheid en beunopening bij respectievelijk een schuifstorter en een splijtbak:**

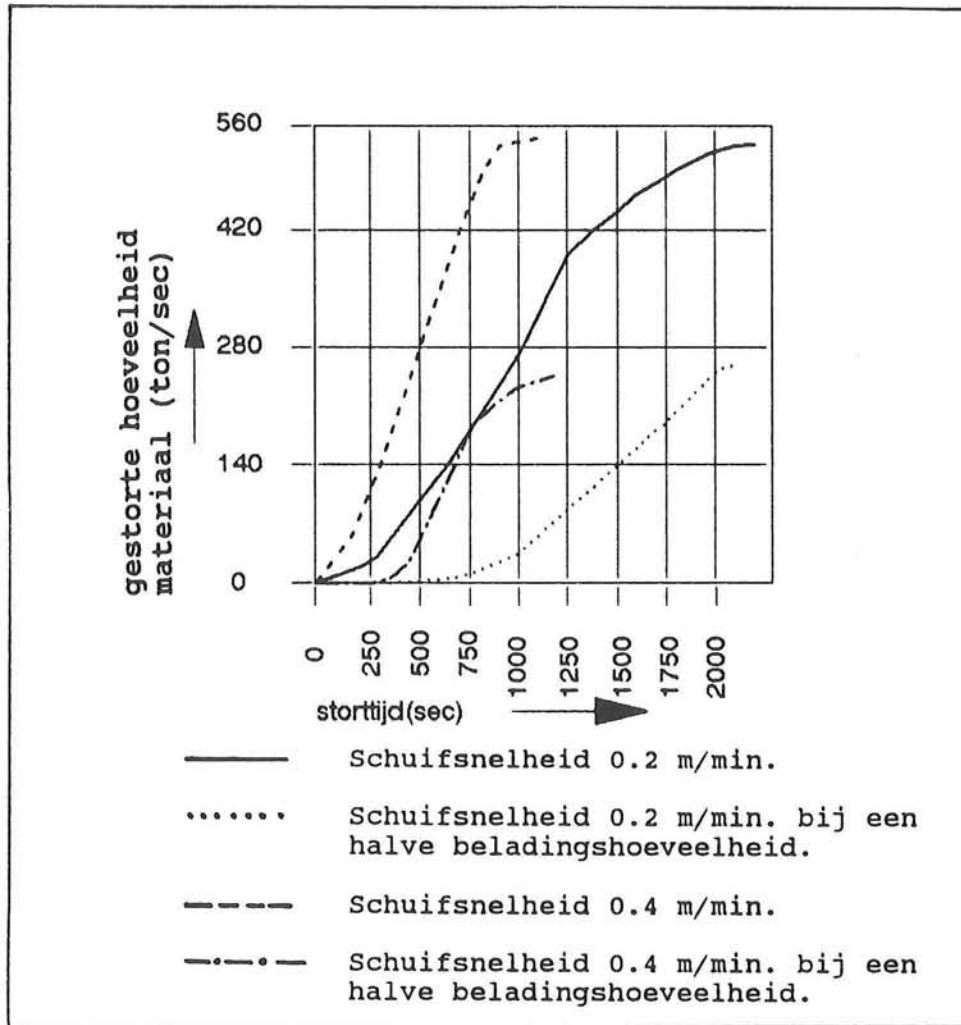
Bij een schuifstorter is het mogelijk om een optimale afstemming tussen de schuif- en de verhaalsnelheid te realiseren.

Bij een splijtbak wordt de grootte van de beunopening, en hiermee de totale storttijd, bepaald door de karakteristieke korreldiameter van het stortmateriaal. Hierdoor is de verhaalsnelheid altijd een afgeleide

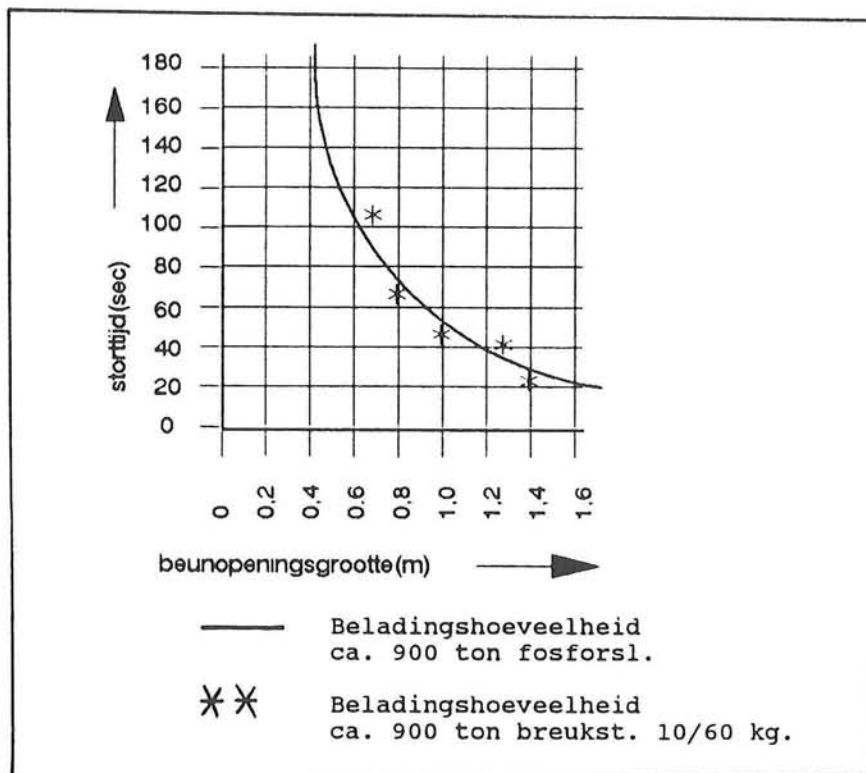
van de in te stellen beunopeningsgrootte. (storttijd) Voorts geldt bij een splijtbak dat, wanneer het stort-proces eenmaal begonnen is, dit niet meer gestopt kan worden.

In figuur 6.3 wordt een voorbeeld gegeven van de stortkarakteristiek van breuksteen 60-300 kg voor een schuifstorter bij een schuifsnelheid van 0,2 en 0,4 m/min.

In figuur 6.4 wordt voor een aantal verschillende beunopeningsgrootten, de storttijd van de materialen, fosforslakken en breuksteen 10-60 kg weergegeven. Deze gegevens zijn ontleend aan fysische modelproeven. (Lit. 9)



Figuur 6.3 Beladingshoeveelheid als functie van de storttijd.



Figuur 6.4 Storttijd als functie van de beunopening.

ad d **Scheepsbewegingen:**

De invloed op het stortresultaat van de door golven geïndiceerde scheepsbewegingen is gering. In de praktijk blijkt dat discontinuïteiten, door het onregelmatig bres-sen, uitgemiddeld worden als gevolg van de heen en weer-gaande beweging van het stortschip en de spreiding van de vallende steen in het water. Dit is eveneens aangetoond via fysisch modelonderzoek, waarvoor wordt verwezen naar lit. 9.

6.2.3 Verplaatsing van het materiaal boven en onder water (III)

Op de weg, die het stortmateriaal aflegt vanaf het stortschip tot op de bodem, is het materiaal onderhevig aan verschillende fysische verschijnselen, die de uiteindelijke plaats en de vorm van het stort sterk kunnen beïnvloeden. Deze verschijnselen kunnen als volgt worden onderscheiden:

- a. verplaatsen van materiaal als gevolg van de afzet;
- b. verplaatsen van materiaal onder invloed van stroming (snelheid, richting);
- c. spreiding van materiaal als gevolg van het loslaten van wervels tussen en botsingen van de onderlinge stenen.

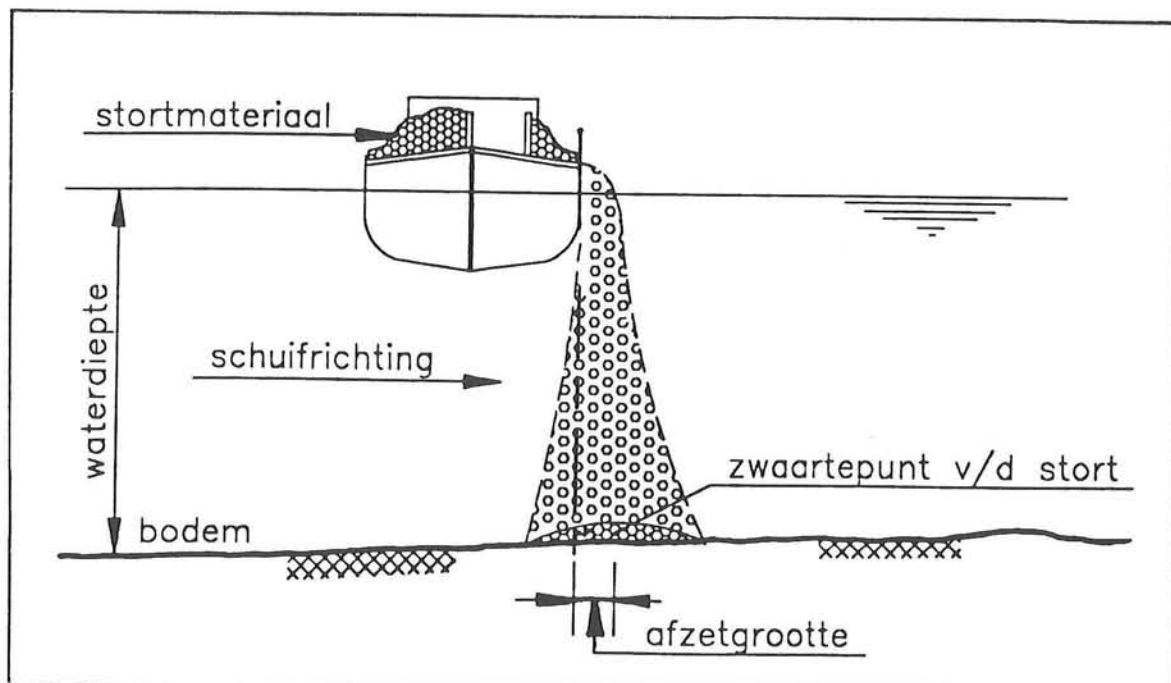
De onder b. en c. bedoelde mechanismen hebben betrekking op het stortproces bij zowel een schuifstorter als bij een splijtbak, terwijl het mechanisme onder a. zich enkel voordoet bij een zijstorter. In het hierna volgende wordt nader ingegaan op deze mechanismen.

ad a Verplaatsing van materiaal als gevolg van de afzet:

Door het bewegen van de schuif van het stortschip en het rollen van het materiaal vanaf een helling (bressen), ondervindt de steen als het ware een "zetje in de rug". Hierdoor ondergaat het materiaal een bepaalde zijdelingse verplaatsing, zoals aangegeven in figuur 6.5

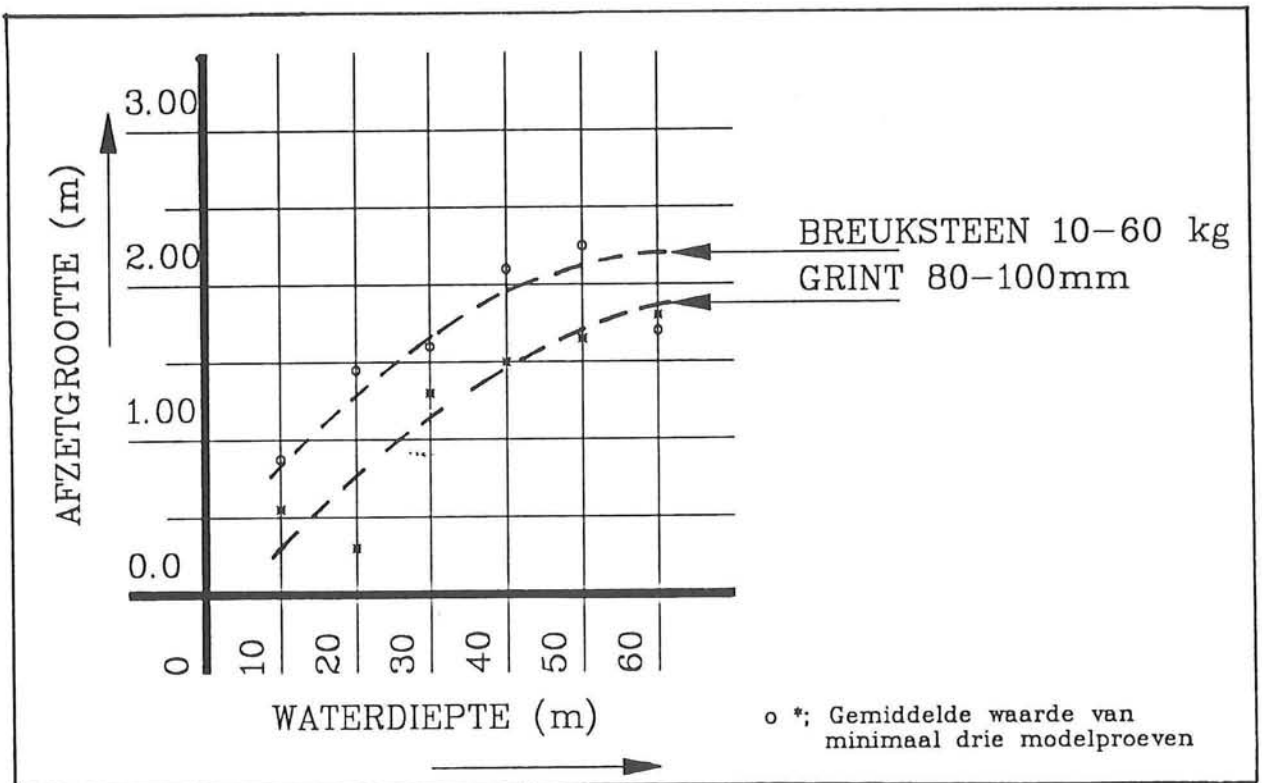
Uit onderzoek (lit. 10) naar de grootte van de afzet in relatie tot de steendiameter is gebleken, dat de steendiameter nauwelijks van invloed is op de afzetgrootte (zwaartepuntverschuiving van het stort). De invloed van de waterdiepte en de korrelvorm (rond, hoekig) op de afzetgrootte, is uitgebreid onderzocht door middel van modelonderzoek. (Lit. 8)

Bij deze proeven, waarvan het resultaat in figuur 6.6 wordt weergegeven, is een vaste hoogte van 1.00 meter als vrijboord aangehouden.



Figuur 6.5 Verplaatsing t.g.v. de afzet.

Beide onderzoeken in ogenschouw nemend, kan geconcludeerd worden, dat voor de lichte en fijne sortering (zie par. 3.3) een afzetgrootte gehanteerd mag worden volgens de in figuur 6.6 weergegeven relaties.



Figuur 6.6 Afzetgrootte als functie van de waterdiepte.

ad. b **Verplaatsing van materiaal onder invloed van stroming**

Indien er gestort wordt onder stromingscondities zal, naast de in hoofdst. 6.2.3 ad.a bedoelde verplaatsing van materiaal (enkel bij zijstorter), rekening gehouden moeten worden met een extra verplaatsing van het stortmateriaal.

Deze verplaatsing, zoals aangegeven in figuur 6.7, moet bij zowel een zijstorter als bij een splijtbak gecorrigeerd worden op de stortpositie van het stortschip.

Uit onderzoek (lit. 9) blijkt, dat de grootte van de verplaatsing met name afhankelijk is van de:

- waterdiepte
- de karakteristieke steendiameter
- de stroomsnelheid
- de stroomrichting
- de weerstandcoëfficiënt van het materiaal
- de relatieve dichtheid van het materiaal onder water.

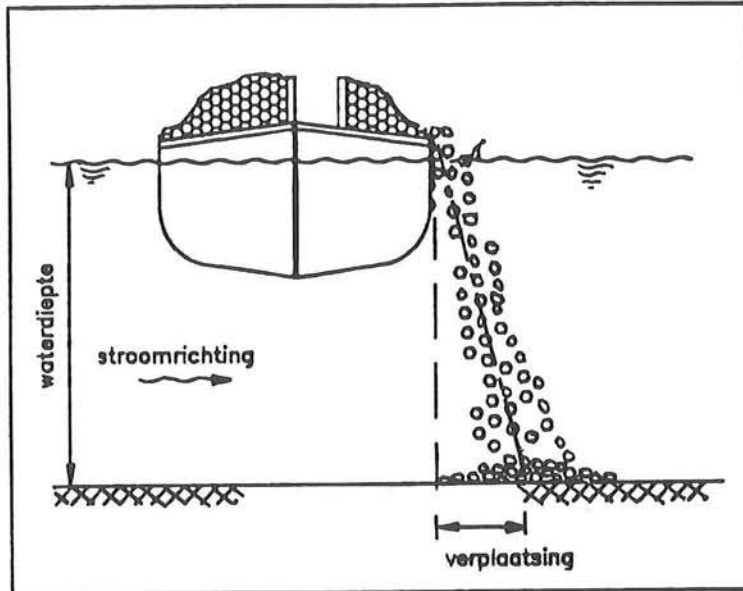
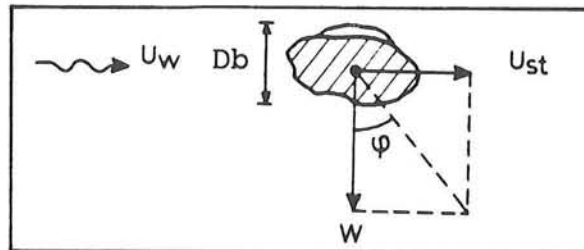


fig. 6.7 verplaatsing t.g.v. stroom.

De verplaatsing van individuele stenen onder water kan worden bepaald, door berekening van de verschuiving volgens de onderstaande relatie:



De baan van een steen in de evenwichtssituatie ($U_{st} = U_w$) volgt uit:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{U_w}{W} = C \frac{U_w}{\sqrt{\Delta g D b}}$$

Hierin is:

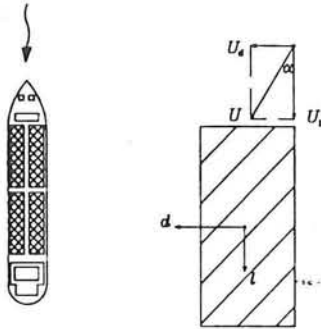
- U_w = stroomsnelheid van het water. (m/s)
- W = valsnelheid van de korrel. (m/s)
- C = coëfficiënt. (-)

Voor een verklaring van de overige parameters wordt verwezen naar de formules voor "kop" en "dwars" op stroom.

Voor de stortmethoden "kop en dwars op stroom" (zie hoofdstuk 10.2.3.3) zijn de verplaatsingen weer te geven door de relatie: (lit.9)

"Kop op stroom";

Stortmiddel evenwijdig aan stroomrichting.

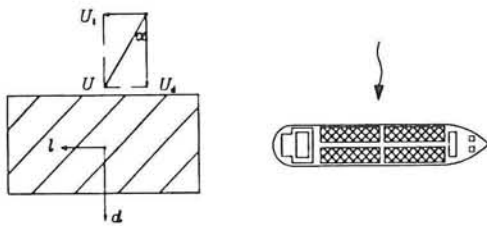


$$l_k = h_o \cdot \frac{C_1}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \cos \alpha$$

$$d_k = h_o \cdot \frac{C_d}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \sin \alpha$$

"dwars op stroom";

Stortmiddel dwars op stroomrichting.



$$l_d = h_o \cdot \frac{C_1}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \sin \alpha$$

$$d_d = h_o \cdot \frac{C_d}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \cos \alpha$$

waarin:

l_k, l_d = verplaatsing in lengterichting. (m)

d_k, d_d = verplaatsing in dwarsrichting. (m)

h_o = waterdiepte. (m)

C_1, C_d = weerstandscoefficiënt: voor "dwars op stroom" geldt; $C_d = 0,86 \Delta^{-1/2}$; voor "kop op stroom" geldt; $C_1 = 1/3 C_d$. (-)

= relatieve dichtheid van het materiaal onder water; $\frac{\rho_{\text{steen}} - \rho_{\text{water}}}{\rho_{\text{water}}}$ (-)

ρ_w, ρ_{st} = dichtheid van het water en materiaal. (kg/m^3)

g = versnelling van de zwaartekracht. (m/s^2)

D_b = karakteristieke steendiameter,

$$D_b = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} * M50 / \rho_{st}} \quad (\text{m})$$

M50	=	massa van een steen overschreden door 50% van de massa.	(kg)
π	=	3.14	(-)
U	=	stroomsnelheid.	(m/s)
α	=	aanstroomhoek.	(graden)

Om een indruk te krijgen van de in rekening te brengen correcties, wordt in tabel 6.1 de verplaatsingsgrootte voor een aantal materialen bij het "dwars" op stroom storten, weergegeven:

Steensortering	ΔDb (m)	absolute correctie (m)			
		V=0,25 m/s $\alpha=0^\circ$		V=0,4 m/s $\alpha=0^\circ$	
		waterdiepte			
		ho=10m	ho=20m	ho=10m	ho=20m
Fosforslakken	0,067	2,4	4,8	3,8	7,6
Staalslakken	0,22	1,1	2,2	1,7	3,4
Breuksteen 10-60kg	0,41	0,9	1,8	1,4	2,8

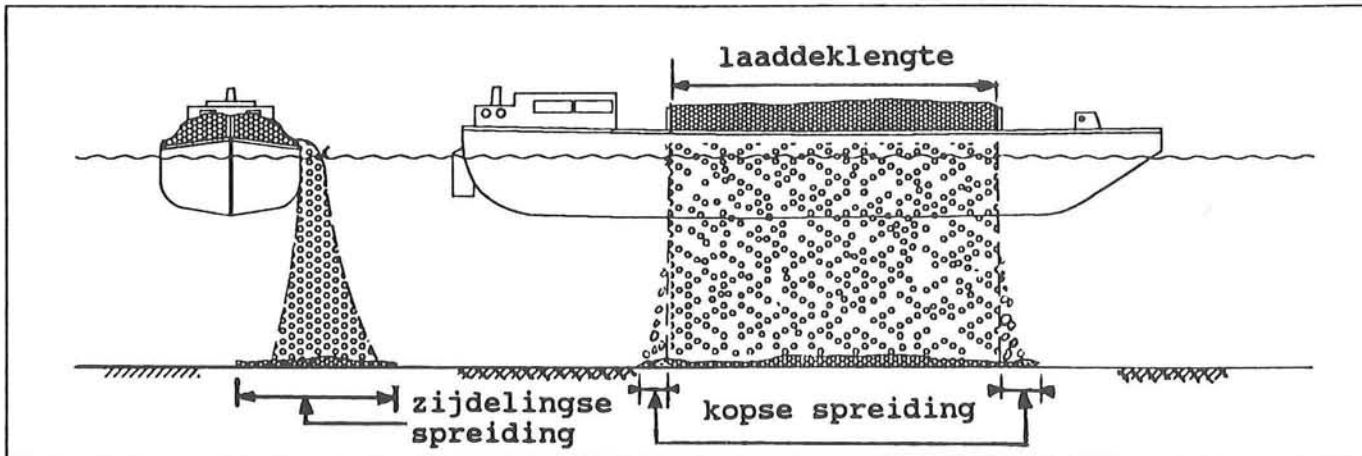
tabel 6.1

* Opmerking; bij het "kop op stroom" storten zijn de verplaatsingen ca. drie maal zo klein als bij "dwars op stroom" storten.

ad. c **Spreiding van materiaal als gevolg van het loslaten van wervels en botsingen tussen de stenen:**

Het mechanisme spreiding (uitwaaiieren van materiaal), veroorzaakt door het loslaten van wervels en het botsen van onderlinge stenen op de weg die het materiaal ondergaat vanaf het stortschip tot aan de bodem, kenmerkt zich door een zijdelingse en kopse spreiding. Deze spreiding, zoals aangegeven in figuur 6.8, is in hoofdzaak afhankelijk van:

- type stortschip
- de steendiameter
- vorm van het stortmateriaal
- waterdiepte



figuur 6.8 zijdelingse en kopse spreiding van materiaal.

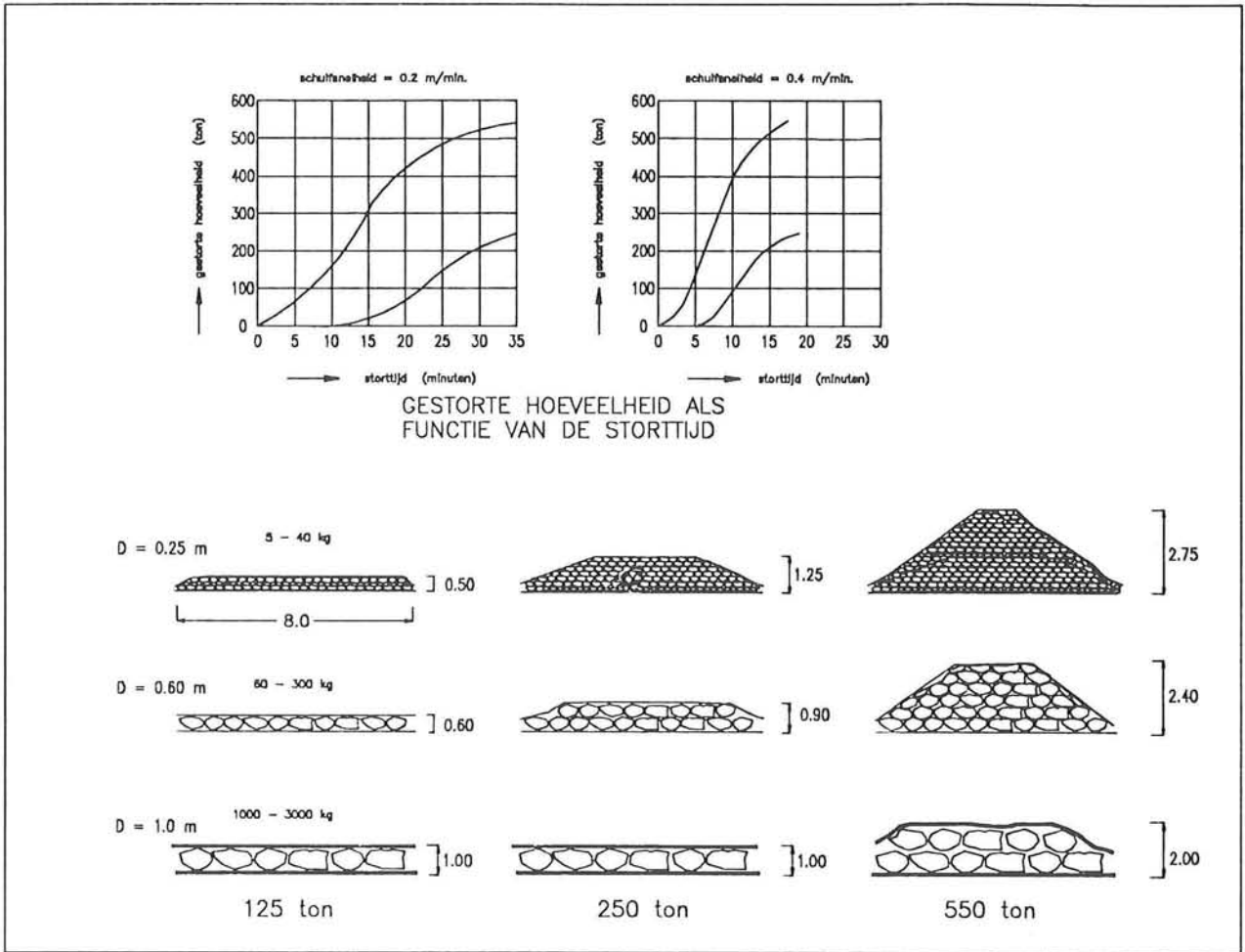
Inzicht in de grootte van de spreiding is essentieel voor eventuele toe te passen plaatscorrecties van het stortschip en hiermee de plaats van het individuele stortveld bij het niet verhalend storten.

Door de grote invloed van het type stortschip op het spreidingsgedrag van het materiaal, wordt dit fysisch proces voor zowel een schuifstorter als voor een splijtbak nader in beschouwing genomen.

* Spreiding bij toepassing van een schuifstorter.

Voor het vaststellen van de spreiding van materiaal op een waterdiepte van 25,00 à 30,00 meter is in het kader van de Oosterscheldewerken uitgebreid onderzoek verricht (lit. 9) naar de invloed van de bestortingshoeveelheid en de materiaalsoort op de spreidingsgrootte. Het resultaat van deze proeven, die uitgevoerd zijn zonder het stortschip te verhalen met een schuifsneldheid van 0,2 respectievelijk 0,4 m/min., wordt hier in het kort samengevat. De verschillen in de stortresultaten van de dwarsprofielen worden weergegeven in figuur 6.9.

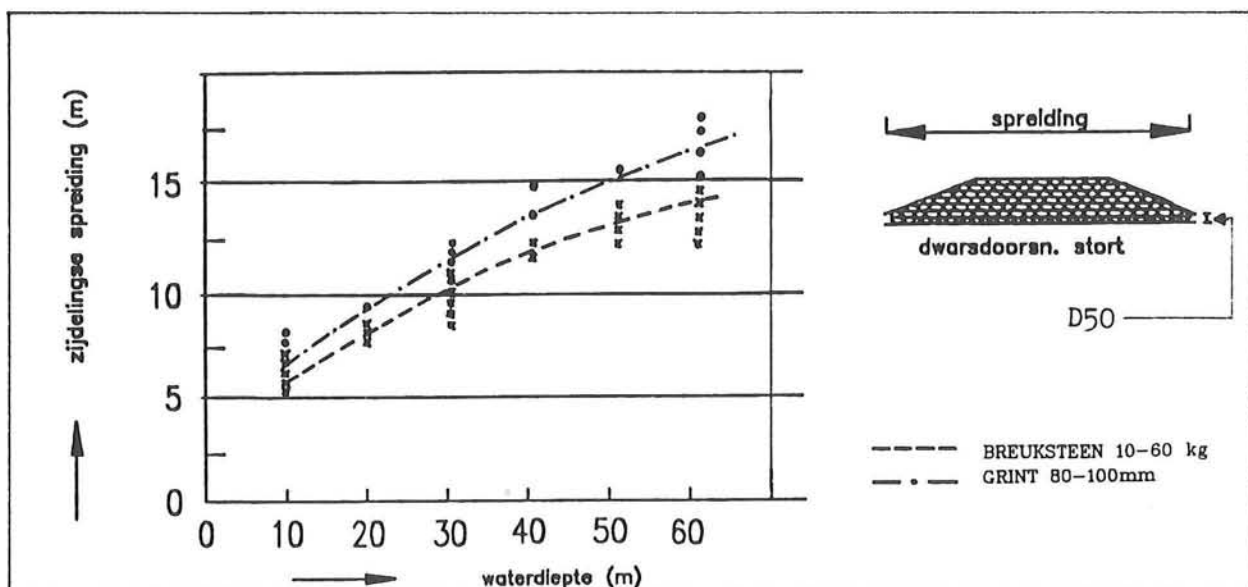
Hieruit blijkt dat, bij één bepaalde waterdiepte, de breedte van het individuele stort onafhankelijk is van de steendiameter, de beladingshoeveelheid en de schuifsneldheid.



figuur 6.9 Dwarsprofielen van een individueel stort als functie van de beladingsgraad.

De breedte (zijdellingse spreiding) en de lengte (kopse spreiding) van de storten is in alle gevallen circa acht meter respectievelijk tweendertig meter (dek lengte schuifstorter 28,00 meter). De variatie in de beladingshoeveelheid komt enkel tot uitdrukking in de gestorte laagdikte.

Op basis van deze resultaten is aanvullend modelonderzoek uitgevoerd naar de invloed van de waterdiepte en de korrelvorm (rond, hoekig) van het materiaal, op de spreidingsgrootte (lit. 8). Bij deze proeven is, voor zowel rond (grind 80-100 mm) als hoekig (breuksteen 10-60 kg) materiaal bij een variërende waterdiepte van 10,00 tot 60,00 meter, de zijdellingse en de kopse spreiding gemeten. De gevonden relatie tussen de zijdellingse spreiding en de waterdiepte voor de in beschouwing genomen sorteringen, wordt grafisch weergegeven in figuur 6.10. Uit het onderzoek is voorts gebleken, dat de grootte van de kopse spreiding, onafhankelijk van de waterdiepte en de korrelvorm, orde grootte vier meter bedraagt. (totale stortvaklengte minus laaddek lengte).

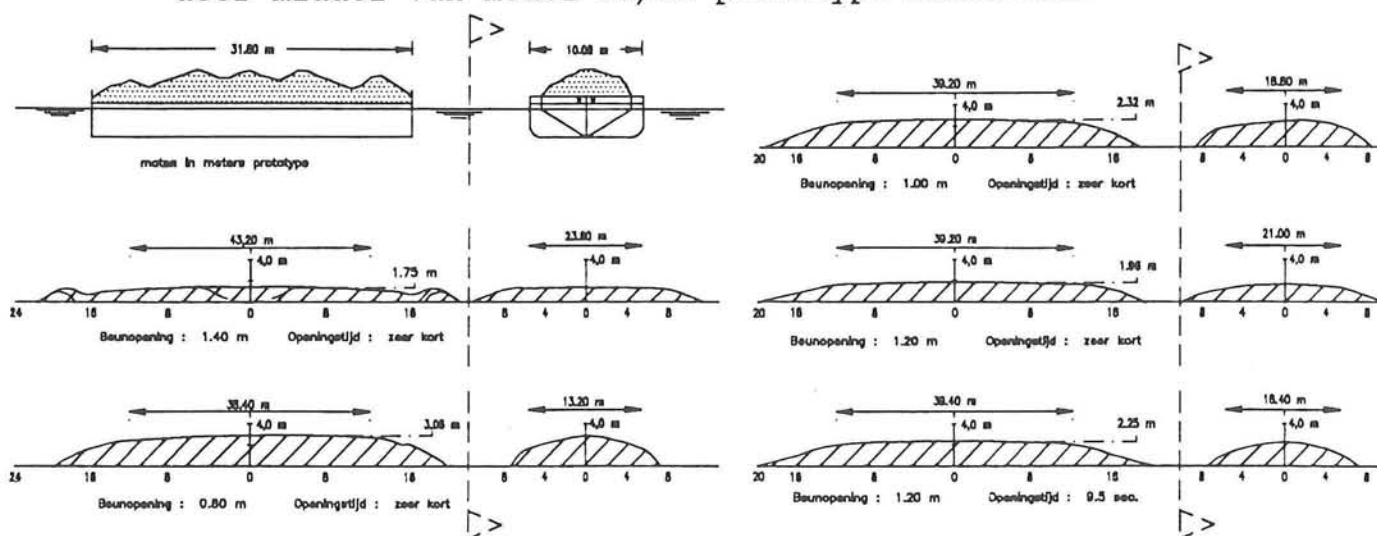


figuur 6.10 Zijdellingse spreiding als functie van de waterdiepte

* Spreiding bij toepassing van een splijtbak.

Uit onderzoek naar de vorm van een individueel stort bij het gebruik van een splijtbak (lit. 9) blijkt, dat er een grote afhankelijkheid bestaat tussen de openingsgrootte van de beun en de spreiding (vorm van het stort). Uit dit onderzoeksresultaat, zoals weergegeven in figuur 6.11, blijkt dat een grote beunopening een breed en laag stortprofiel oplevert, terwijl een kleinere beunopening een smaller en hoger stortprofiel te zien geeft.

Daar de openingsgrootte van de beun per materiaalsoort vastgesteld dient te worden (zie hoofdst. 6.2.2 ad.a) zijn de beschikbare praktijk- en modelgegevens onvoldoende om voor een splijtbak een eenduidige spreidingsrelatie te geven. Daarom verdient het aanbeveling om bij het gebruik van een splijtbak als stortmiddel, de vorm van het stortprofiel van de te storten sorteringen van te voren vast te stellen door middel van model en/of prototype-onderzoek.



figuur 6.11 Geometrie van een individueel stort als functie van de beunopening.

6.2.4 Spreiding van materiaal ten gevolge van bodemcontact (IV)

De spreiding (uitwaaiëren van materiaal), zoals bedoeld in hoofdstuk 6.2.3 ad.c, is inclusief de verplaatsing van de stenen veroorzaakt door het botsen en rollen van de steen bij het neerkomen op de bodem. De spreidingsomvang, zoals bedoeld in dit handboek, is gebaseerd op het strooiend aanbrengen van het materiaal op een harde en tevens vlakke ondergrond.

De praktijk leert dat er bij het klappend storten (zie hoofdst. 9.3) zodanige hoge valsnelheden op kunnen treden, dat het materiaal zich over grote afstanden verplaatst en tevens de kans op het veroorzaken van gaten in de ondergrond groot is. (zie hoofdstuk 7.2)

Een belangrijke invloedsparameter op het spreidingsgedrag is de bodemhelling in relatie tot de helling van het natuurlijk talud van het materiaal. Bij overschrijding van dit criterium treedt er verplaatsing van materiaal op (instabiliteit), tot zich een nieuwe evenwichtssituatie heeft ingesteld.

6.3 **Samenvatting stortproces met de van invloed zijnde parameters**

De fasen van het stortproces met de hierop van invloed zijnde relevante procesparameters en de hiervan af te leiden eisen voor een beheerst stortproces, worden samengevat weergegeven in figuur 6.12

Voor een specificatie van deze eisen, die belangrijk zijn voor een beheerst stortproces, wordt verwezen naar hoofdstuk 10.



Zelfpostionerende en vrijvarende schuifstorter in bedrijf.

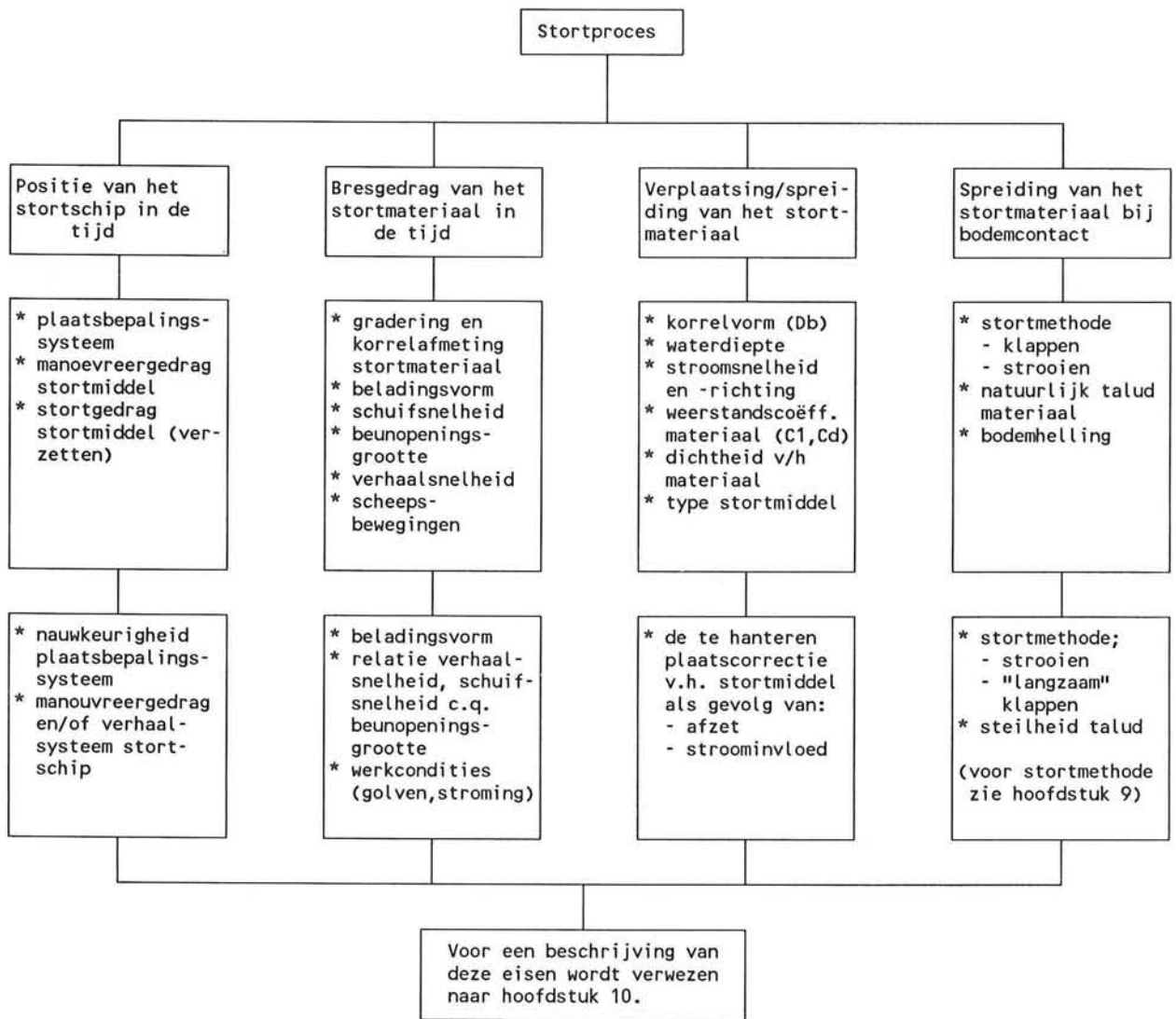


Fig.6.12 Procesboom met van invloed zijnde procesparameters.

HOOFDSTUK 7

STORINGSANALYSE STORTPROCES

7.1 Inleiding

Bij de in hoofdstuk 6 beschreven analyse van het stortproces kunnen zich verschillende ongewenste effecten voordoen die de kwaliteit van het eindprodukt nadelig kunnen beïnvloeden. Deze ongewenste gebeurtenissen, weergegeven in de foutenboom van figuur 7.1, die relevant zijn voor het uiteindelijke stortresultaat, zijn gebaseerd op bevindingen uit de praktijk en op de resultaten van de fysische modelproeven.

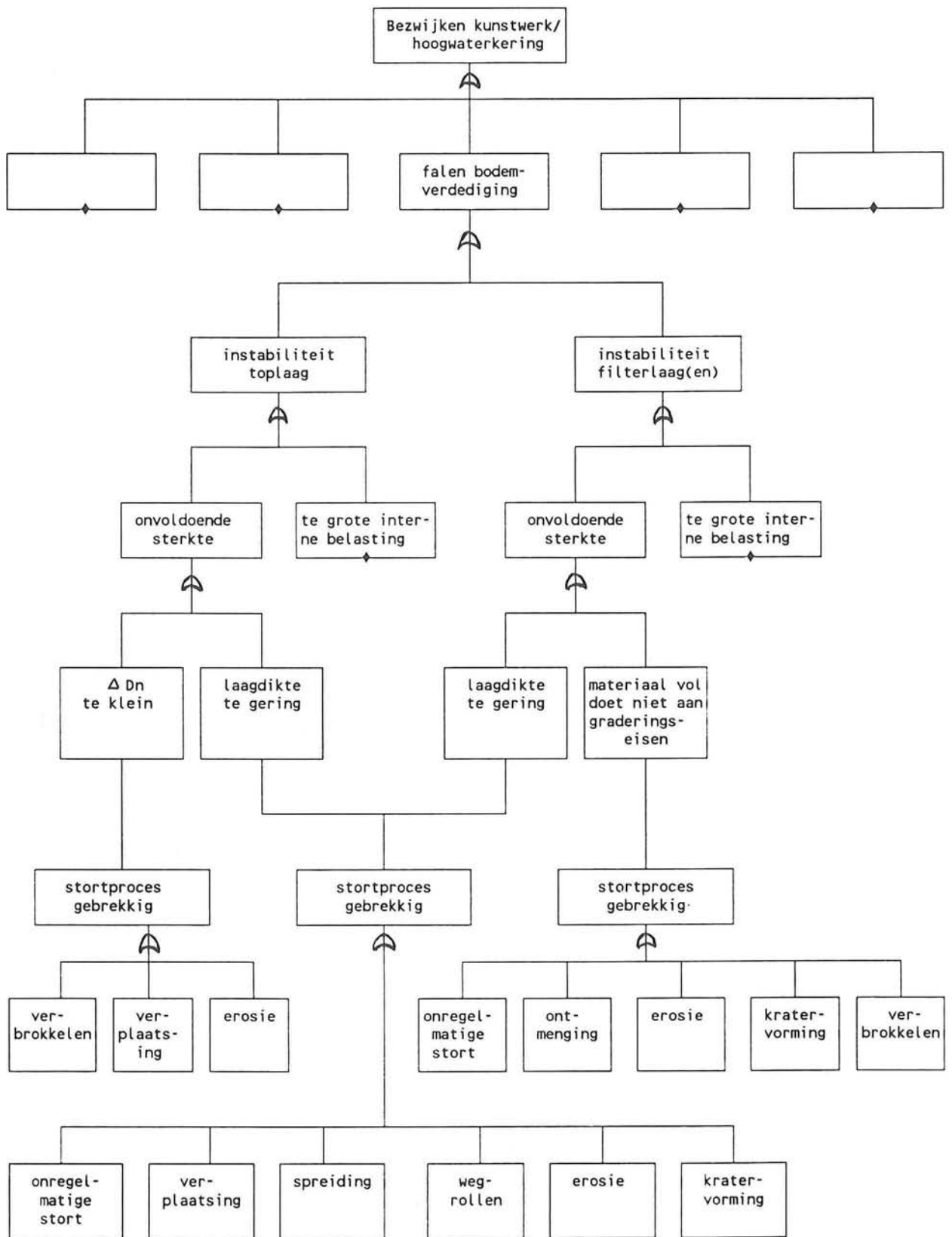
In hoofdstuk 7.2 worden deze onvoorziene afwijkingen van de normale procesvoering in kwalitatieve zin geanalyseerd naar oorzaak en gevolgen van die afwijkingen en naar de hier tegen te nemen maatregelen. Op deze maatregelen, die in het kader van dit handboek relevant zijn, wordt nader ingegaan in de hoofdstukken 9 en 10.

7.2 Ongewenste gebeurtenissen

In de in figuur 7.1 weergegeven foutenboom van het stortproces, wordt via de basisgebeurtenissen en de overdrachtfuncties de ongewenste topgebeurtenis gedefinieerd. Voor de bodemverdedigingsconstructie wordt als meest ongewenste gebeurtenis (topgebeurtenis) het bezwijken van de hoofdconstructie (bijv. een kunstwerk of dijk) aangenomen.



Dijkdoorbraak stormvloed 1953.



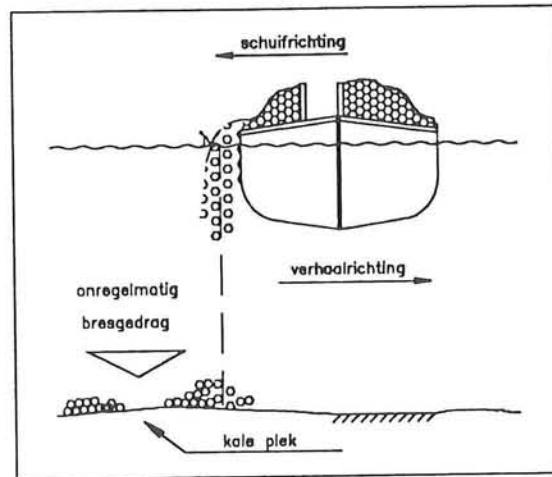
◆ = niet verder uitgewerkt

fig. 7.1 Foutenboom stortproces

De in figuur 7.1 weergegeven ongewenste gebeurtenissen worden onderstaand in het kort toegelicht:

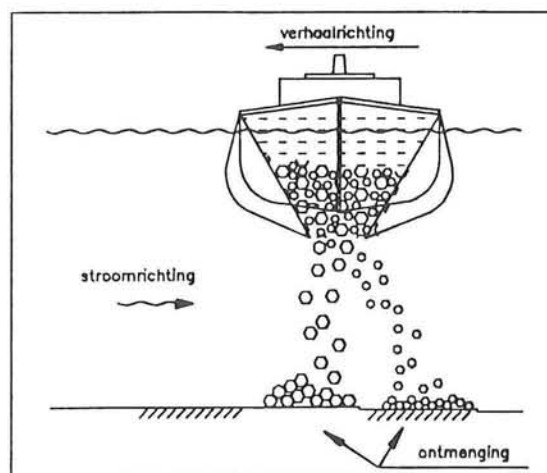
Onregelmatige stort:

Bij het verhalend storten moet de verhaalsnelheid en de schuif-snelheid (lostijd) op elkaar zijn afgestemd. Wanneer de stukgrootte van het stortmateriaal erg groot is, treedt er een onregelmatigheid op in het bresgedrag. Een andere oorzaak kan zijn, de onregelmatigheid van de schuif-snelheid of stagnatie in het schuifmechanisme.



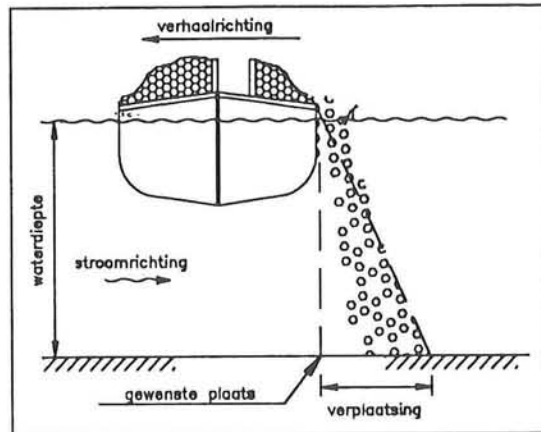
Ontmenging:

Door het verschil in valsnelheid en valtijd (zie hoofdst.4.7.6) van de relatief kleine en grote korrels van een sortering, zullen de grote korrels eerder de bodem bereiken dan de kleinere korrels. Hierdoor wordt de gemengdheid van het materiaal, zoals aangebracht op het stortschip, anders dan die van het gestorte materiaal. Namelijk tijdens het storten onder stroomomstandigheden komen de kleinere korrels op een andere plaats terecht dan de grovere korrels.



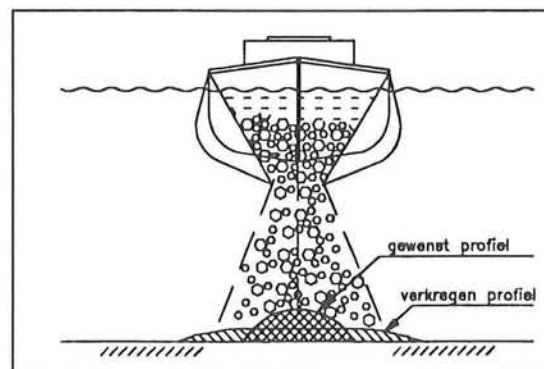
Verplaatsing:

Tijdens het storten moet rekening gehouden worden met een positioneercorrectie van het stortschip als gevolg van de afzet en de stroomsnelheid en -richting. (zie hoofdst. 6.2.3 ad a en b) Bij het niet juist toepassen van deze plaatscorrectie zal het stortmateriaal op een andere plaats op de bodem terecht komen dan de gewenste.



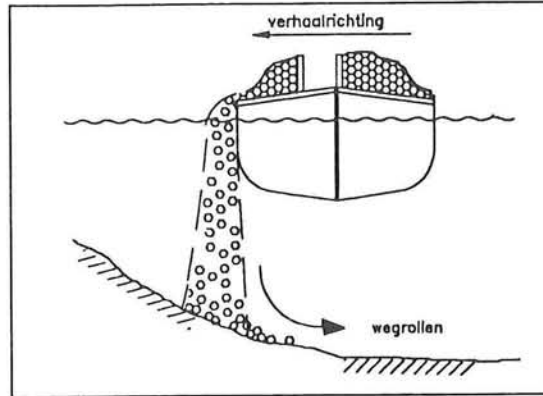
Spreiding:

Bij het niet verhalend storten moet rekening worden gehouden met het uitwaaiëren van het stortmateriaal. (zie hoofdstuk 6.2.3 ad c) Bij een onjuiste interpretatie hiervan, wordt een afwijkend stortprofiel verkregen. Hierdoor zal de breedte en de lengte van de stort, alsmede de laagdikte, verschillend zijn t.o.v. de gewenste vorm en laagdikte van het stort.

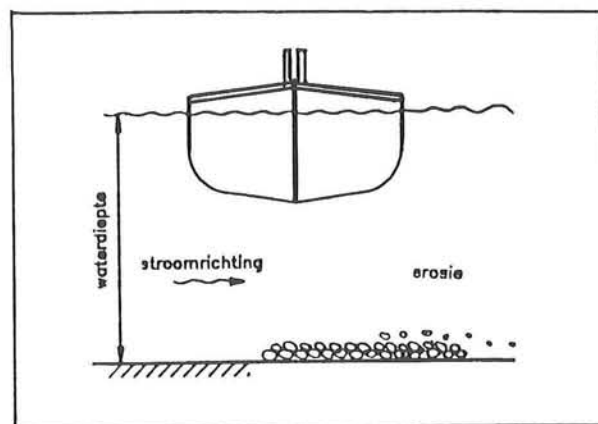


Wegrollen:

Het stortmateriaal komt op de gewenste plaats op de bodem terecht, maar blijft niet liggen. Dit kan een gevolg zijn van een te steile onderwaterhelling. Namelijk bij overschrijding van het natuurlijk talud van het materiaal, zal verplaatsing (wegrollen) van het materiaal optreden.

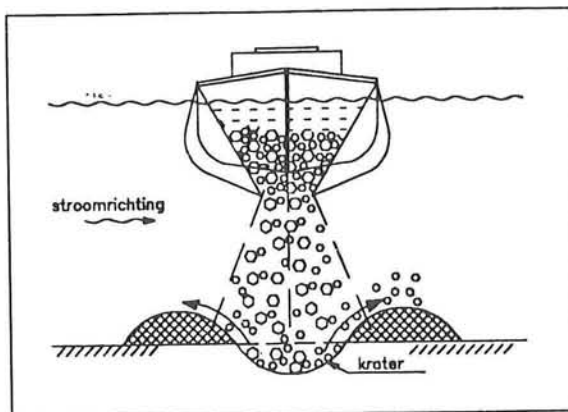
**Erosie:**

Het stortmateriaal kan op de juiste plaats op de bodem zijn neergekomen, maar blijft niet op de gewenste plaats liggen. Dit kan een gevolg zijn van het onvoldoende stroombestendig zijn van het gestorte materiaal onder de heersende stroomcondities.



Kratervorming:

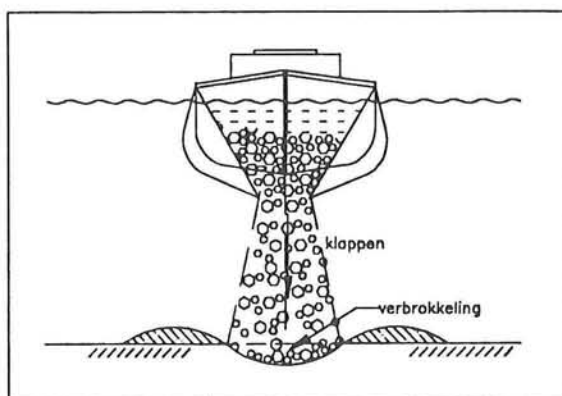
Bij het klappende storten (zie hoofdst. 9.3) met een splijtbak treden, afhankelijk van de waterdiepte, zodanige valsnelheden van het materiaal op, dat op de plaats waar het materiaal de bodem raakt, gaten (kraters) worden geklapt. Door de hoge mate van turbulentie t.p.v dit raakpunt, zal een gedeelte van het stortmateriaal door de hoofdstroom worden meegevoerd en een ander gedeelte direct naast de "krater" sedimenteren.



Verbrokkelen:

Het stortmateriaal krijgt op zijn weg van de winplaats naar de uiteindelijke stort, vele klappen te verduren. (overslag, transport) Een deel van het stortmateriaal heeft hierdoor al een zekere verfijning ondergaan voordat het gestort wordt.

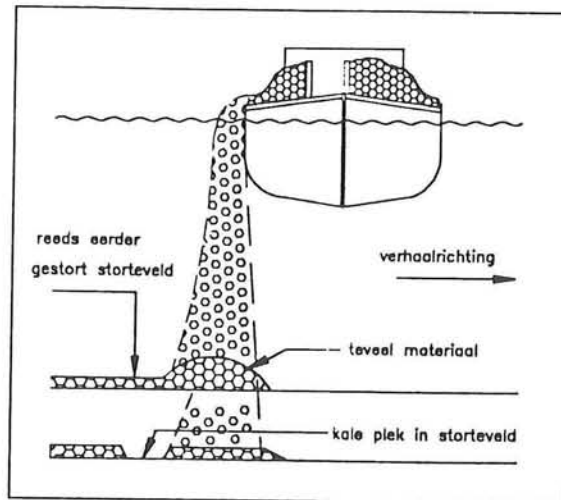
Een ander deel van deze verfijning kan zich voordoen als gevolg van het storten van het materiaal. Hiervan is enkel sprake bij het klappende storten.



Gebrekkige aansluiting:

Elke storthandeling kan door tal van oorzaken afwijken van het beoogde resultaat.

Bij het bestorten van grote oppervlakten kunnen de afzonderlijke storten (stortvakken) op variabele afstanden van elkaar terecht komen. Hierdoor zullen zich kale plekken (geen stortmateriaal) of te weinig stortmateriaal of een overmatige hoeveelheid aan materiaal doen gelden.



7.3 Uitwerking storingsanalyse.

De hiervoor beschreven ongewenste gebeurtenissen worden onderstaand nader geanalyseerd naar fase, oorzaak, afhankelijkheid en de te nemen maatregelen. De procesfasen, waarin deze gebeurtenissen op kunnen treden, worden uitvoerig beschreven in paragraaf 6.2 en worden voor alle duidelijkheid hier nogmaals genoemd.

Fasen:

- I de positie van het stortscip in de tijd;
- II het bresgedrag van het stortmateriaal in de tijd;
- III de verplaatsing van het materiaal boven en onder water, t.g.v. stroming en spreiding in stilstaand water (uitwaaiëren);
- IV de spreiding van het materiaal bij bodemcontact.

Via de storingsanalyse volgens figuur 7.2 kunnen de zwakke schakels in het stortproces worden opgespoord, zodat preventieve maatregelen genomen kunnen worden die de kans van optreden van deze gebeurtenissen zoveel mogelijk verlaagt of de schadelijke gevolgen hiervan minimaliseert.

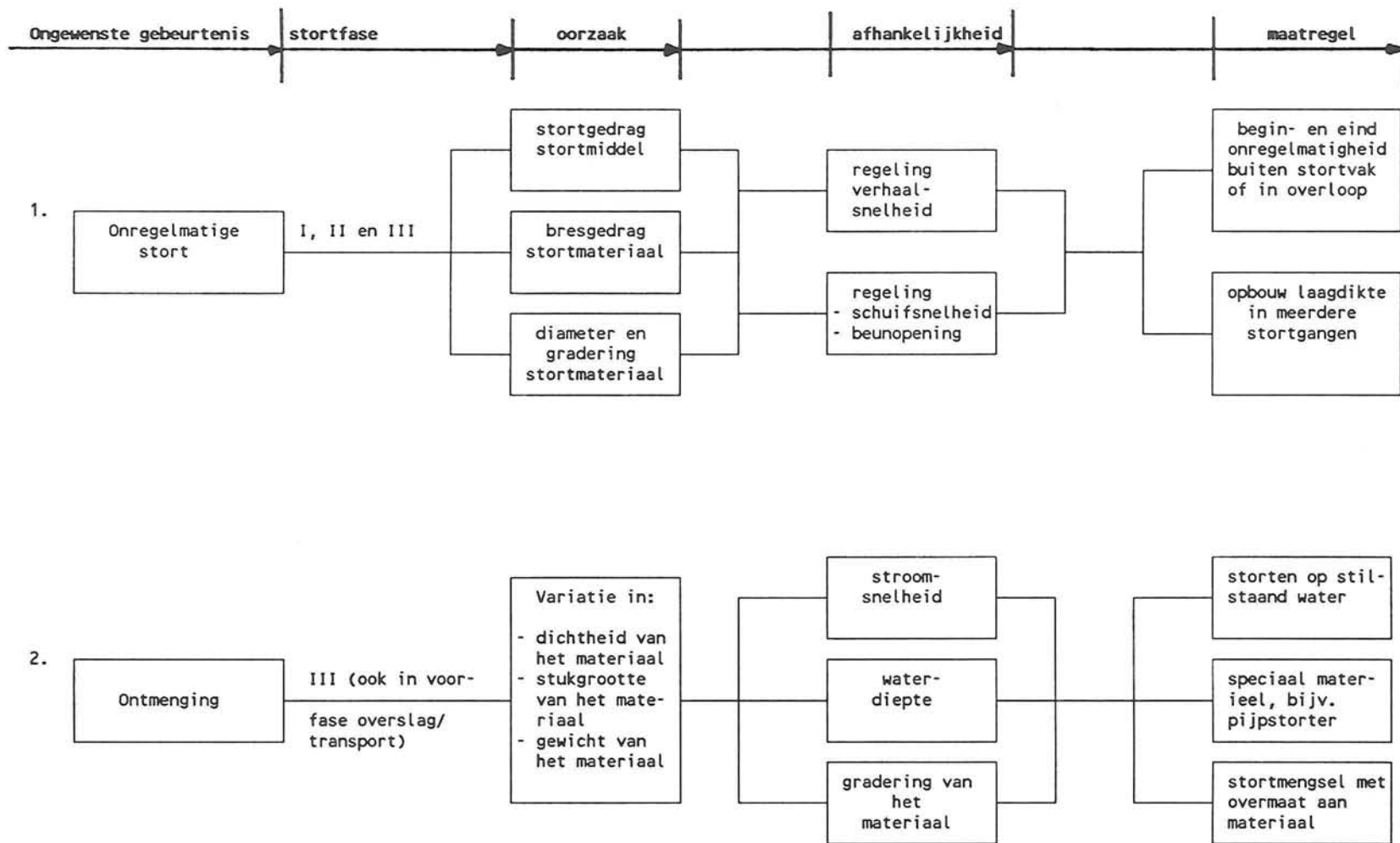
Uit de in figuur 7.2 weergegeven storingsanalyse blijkt dat, bij het storten van materiaal vanaf de waterlijn, eisen gesteld dienen te worden aan de volgende eindresultaat bepalende factoren:

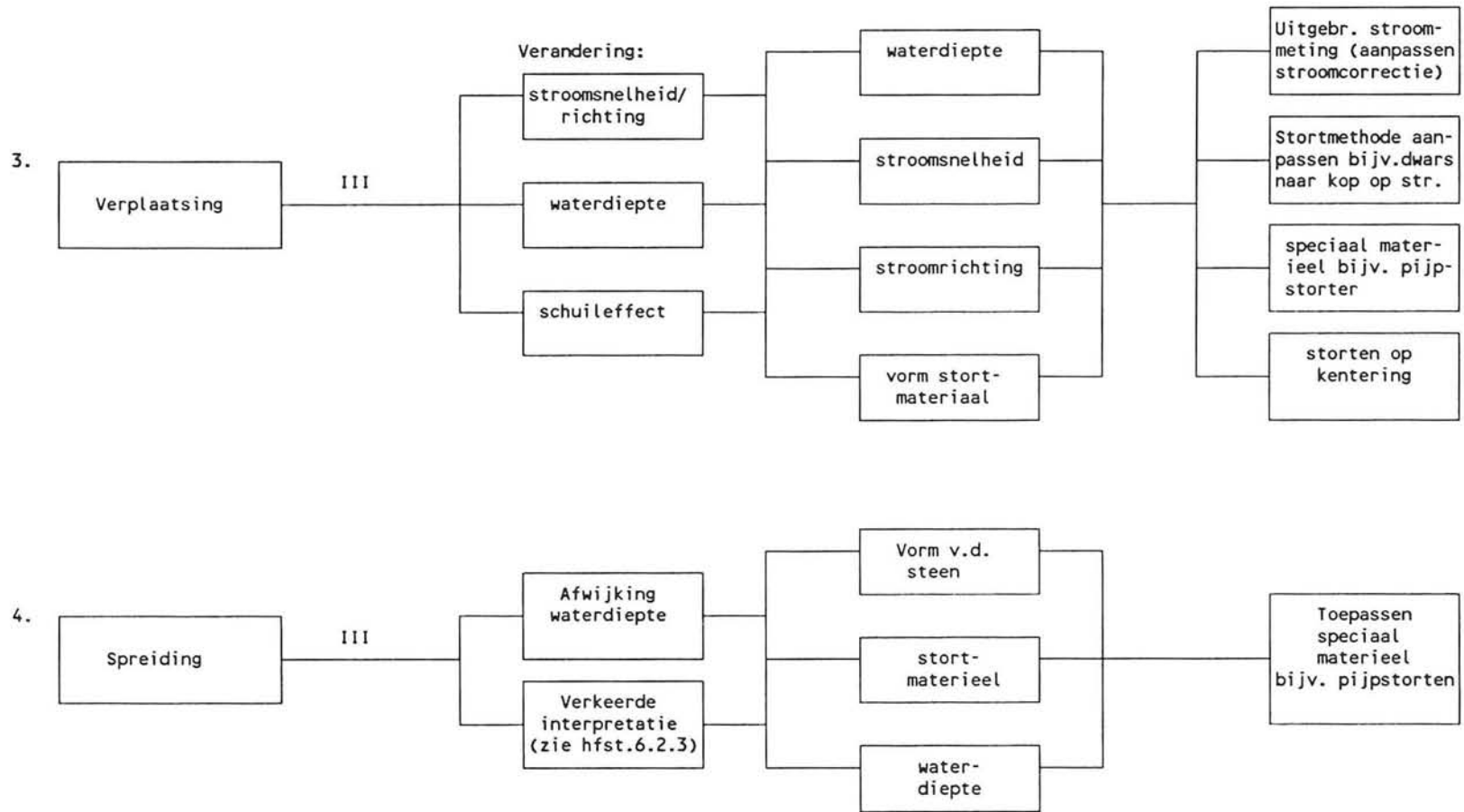
- * De plaats van het optreden van de begin- en eindonregelmatigheid in het bresgedrag.
- * Het aantal stortgangen (verhaalslagen) waarmee de laagdikte opgebouwd dient te worden.
- * De grootte van de stroomsnelheid tijdens het positioneren en het storten.
- * Het meten van de stroomsnelheid en -richting tijdens het positioneren en het verhalend storten.
- * De positie van het stortschip t.o.v. de stroomrichting. (dwars of kop op stroom)
- * De steilheid van het onderwatertalud.
- * De volgorde van de stortgangen bij het bestorten van een onderwatertalud.
- * De wijze van storten. (strooiend storten)
- * Dakpansgewijs of halfsteensverband storten om een goede aansluiting van de onderlinge stortvakken te verkrijgen.

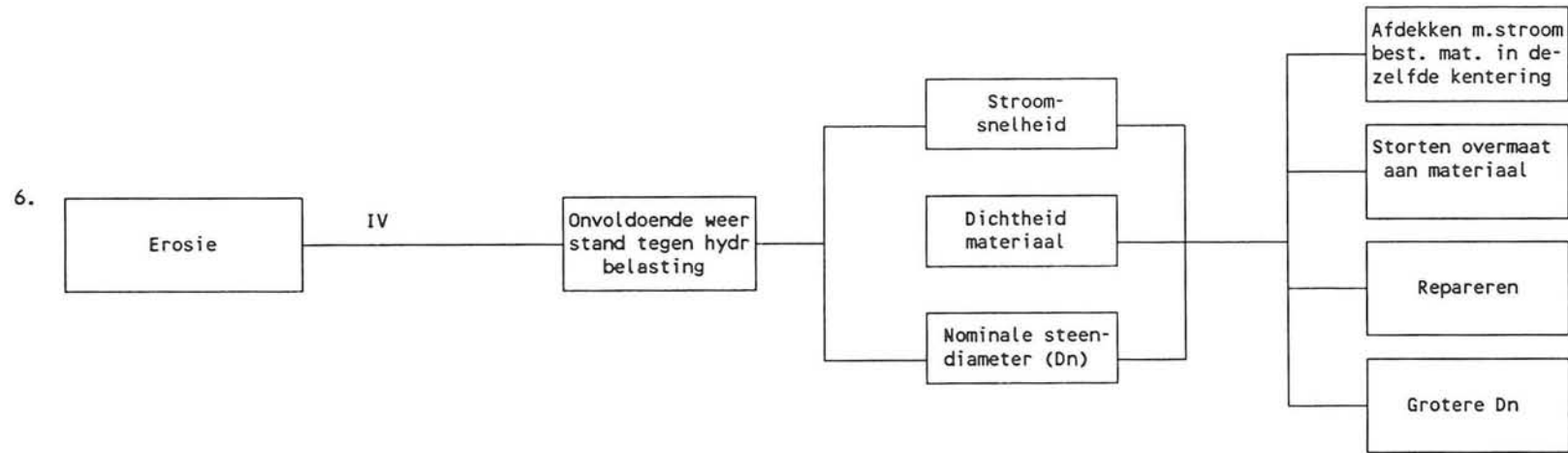
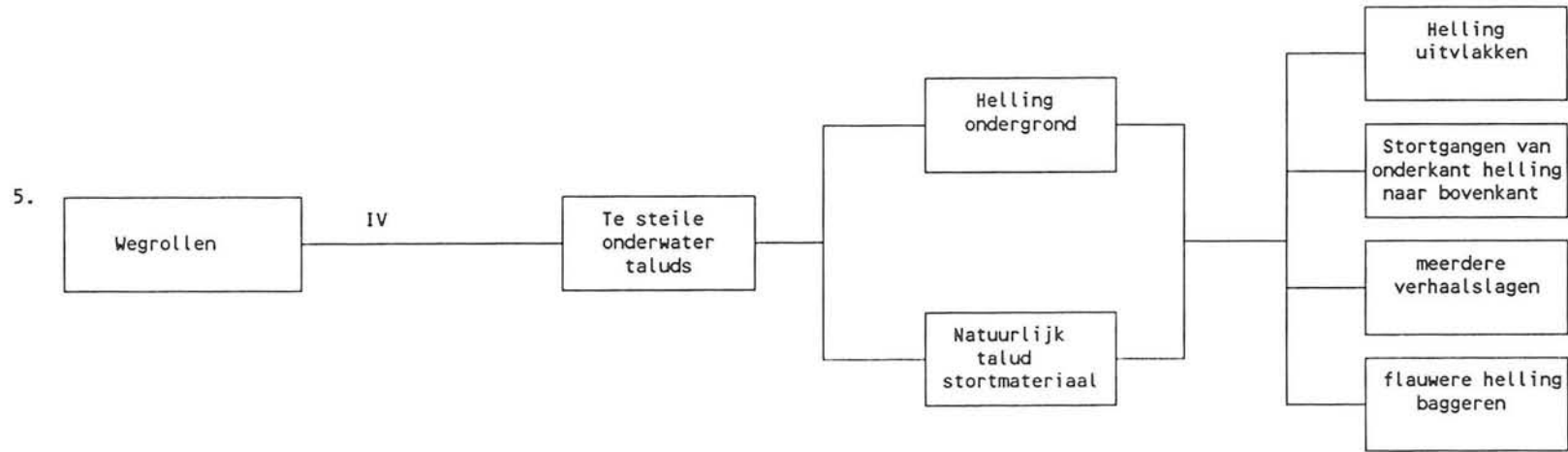
De aspecten, die betrekking hebben op de stortmethodiek, worden nader toegelicht in hoofdstuk 9, terwijl voor de vertaling van deze aspecten naar de te stellen eisen aan het stortproces, wordt verwezen naar hoofdstuk 10.

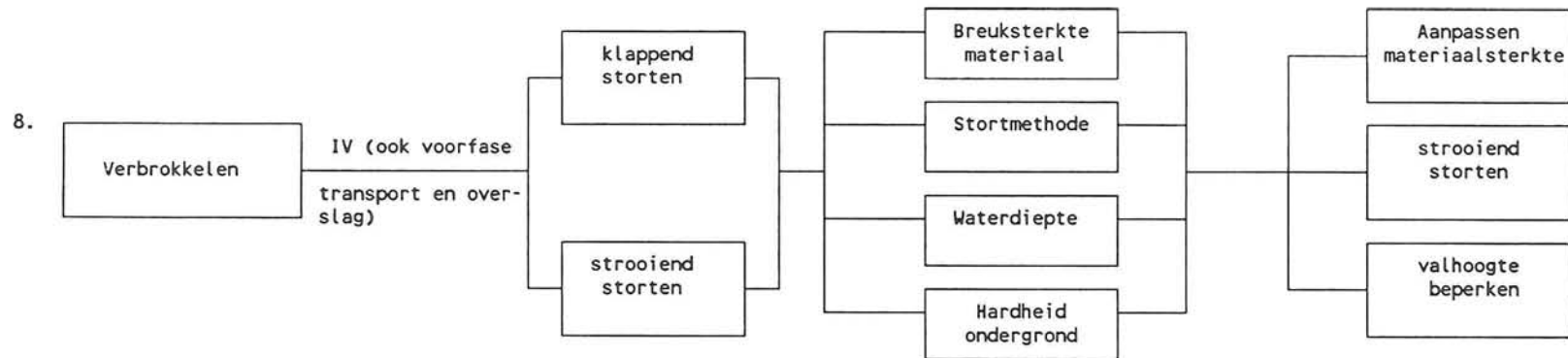
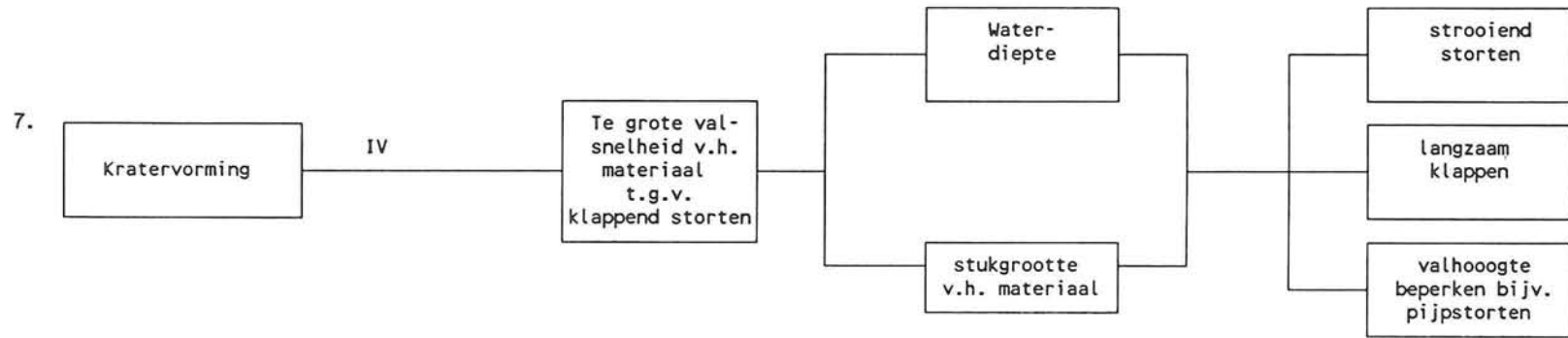


Breuksteen 6-10 ton.

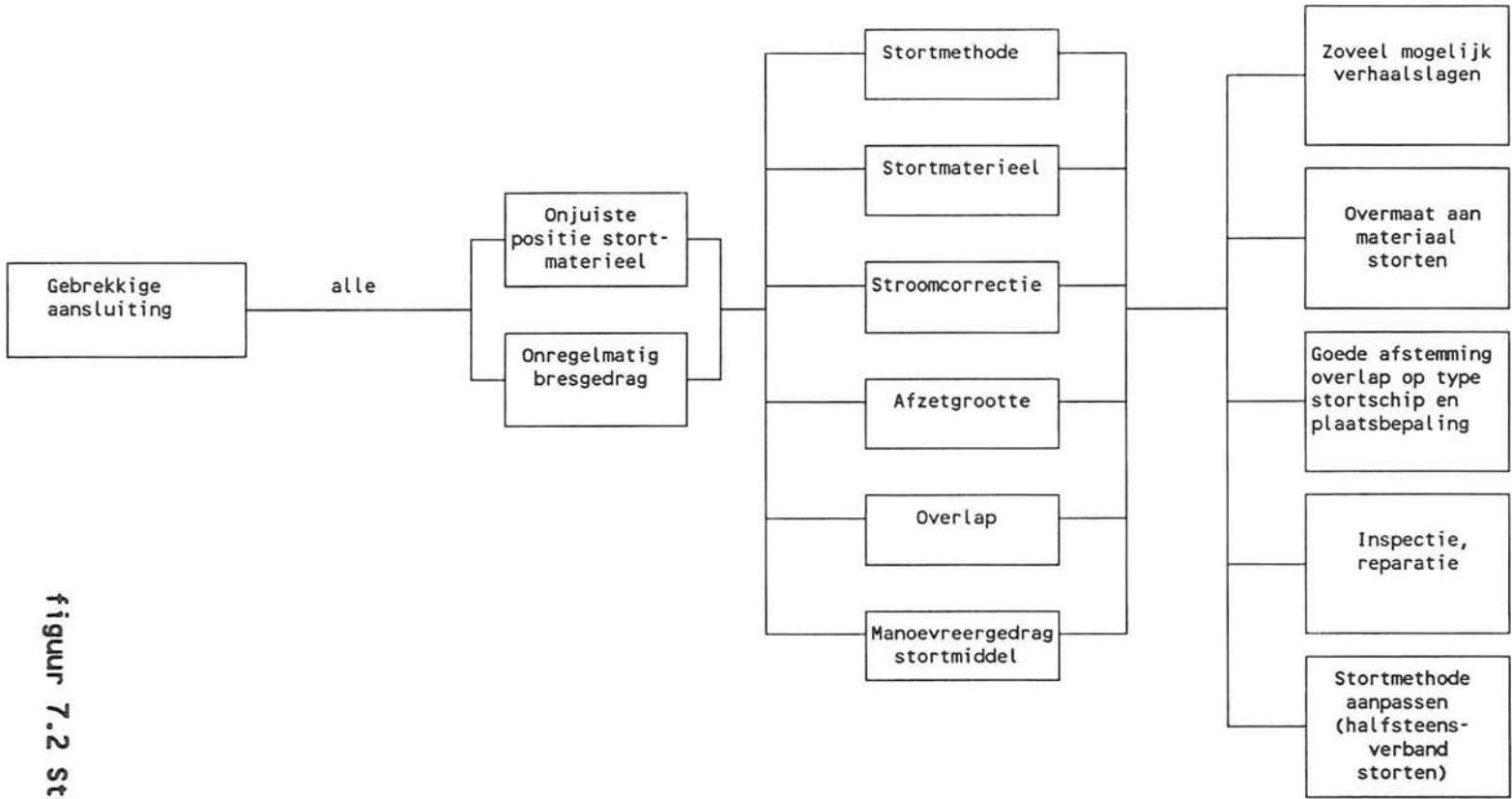








9.



figuur 7.2 Storingsanalyse stortproces

HOOFDSTUK 8

SCHEMATISATIE PROCESFASEN IN "STORTSIM"

8.1 Inleiding

Zoals reeds uit de vorige hoofdstukken is gebleken, is het storten van steenachtige materialen een proces dat zich kenmerkt door een grote verscheidenheid aan parameters die het eindprodukt bestorting beïnvloeden.

Het is een feit, dat de voorspelbaarheid van de kwaliteit van een uitgevoerde bestorting (bijv. laagdikte) onvoldoende wordt beheerst. Dit leidt tot onzekerheid over de kwaliteit van het eindprodukt en dientengevolge tot, hetzij schade, hetzij hoge inspectiekosten.

Voorts kan opgemerkt worden dat in het algemeen de ontwerper onvoldoende inzicht heeft in het vaststellen van de praktisch te storten hoeveelheid materiaal, die benodigd is om te kunnen voldoen aan de vereiste minimum laagdikte. (zie hoofdst. 4.7.4)

Met het doel om aan deze tekortkomingen tegemoet te komen is het mathematische model "STORTSIM" ontwikkeld.

Met behulp van dit computermodel is het mogelijk om in de ontwerp- en werkvoorbereidende fase, de meest optimale laagdikte en de hierbij horende stortstrategie vast te stellen.

In de uitvoerende fase kan "STORTSIM" gebruikt worden als controlemiddel door op basis van de gerealiseerde en gemeten stortwaarden een kansuitspraak te kunnen doen over het kwaliteitsniveau van een uitgevoerde stort.

In dit hoofdstuk wordt de schematisatie van "STORTSIM", van de in hoofdstuk 6 beschreven procesfasen, beknopt weergegeven.

Voor een toepassingsvoorbeeld van het gebruik van het programma wordt verwezen naar hoofdstuk 16.

8.2 Modellerings positie van het stortmiddel

In het simulatiemodel "STORTSIM" wordt de positie van het stortschip beschreven door de positie van het zwaartepunt van het schip (x, y) en een koers (ϕ).

De positie van het zwaartepunt van het schip kan op twee essentiële verschillende manieren worden beschreven, te weten:

1. generatie van de positie (x, y, ϕ) door het programma;
2. inlezen van een gemeten positie-gegeven.

De eerste methode werkt op basis van superpositie van harmonische componenten, gecombineerd met een bijstuurgedrag. Hiermee kan op basis van de bekende scheepskarakteristieken onder diverse omstandigheden (zoals stroming, wind enz.) de plaats in de tijd bepaald worden. Dit biedt de mogelijkheid om, voordat er gestort wordt, de invloed van de positionering op het stortresultaat te bepalen (zie figuur 8.1).

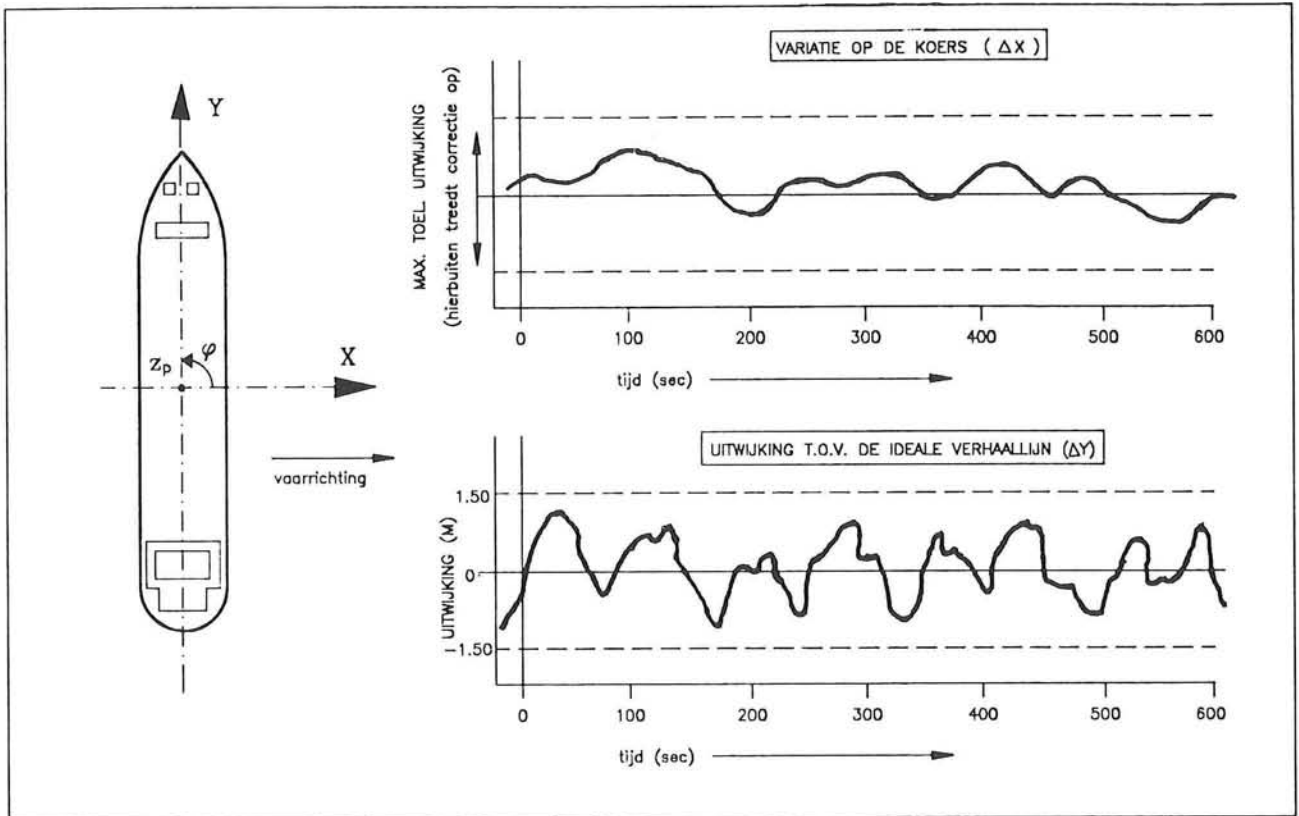


fig. 8.1 afwijking ideale koers en verhaallijn.

De tweede methode biedt de mogelijkheid om een uitgevoerde stort na te spelen in het simulatiemodel, hiervoor is het nodig dat tijdens het varen de positie van het schip wordt ingemeten. Nadat de positie van het zwaartepunt van het schip in de tijd bekend is, kan bij een gegeven afstand "zwaartepunt-middendek", de positie van de theoretische stortlijn worden bepaald.

8.3 Modellerings bresgedrag stortmateriaal

In het model is op dit moment alleen voor de zijlosser het bresgedrag gemodelleerd.

Voor de schematisatie van het bresgedrag wordt gebruik gemaakt van een theoretische stortkarakteristiek en van een verplaatsingscriterium als bepalingsmethode voor het optreden van een bres.

bepalingsmethode theoretische stortkarakteristiek:

De theoretische breshoeveelheden worden bepaald door middel van de doorsnijding onder de hoek van natuurlijk talud met de bovenkant van het talud. Dit proces wordt herhaald totdat uiteindelijk het gehele stortvolume is gebrest. Bij de bepaling van de theoretische storthoeveelheden speelt de beladingsvorm en de hoek van natuurlijk talud een grote rol (zie figuur 8.2).

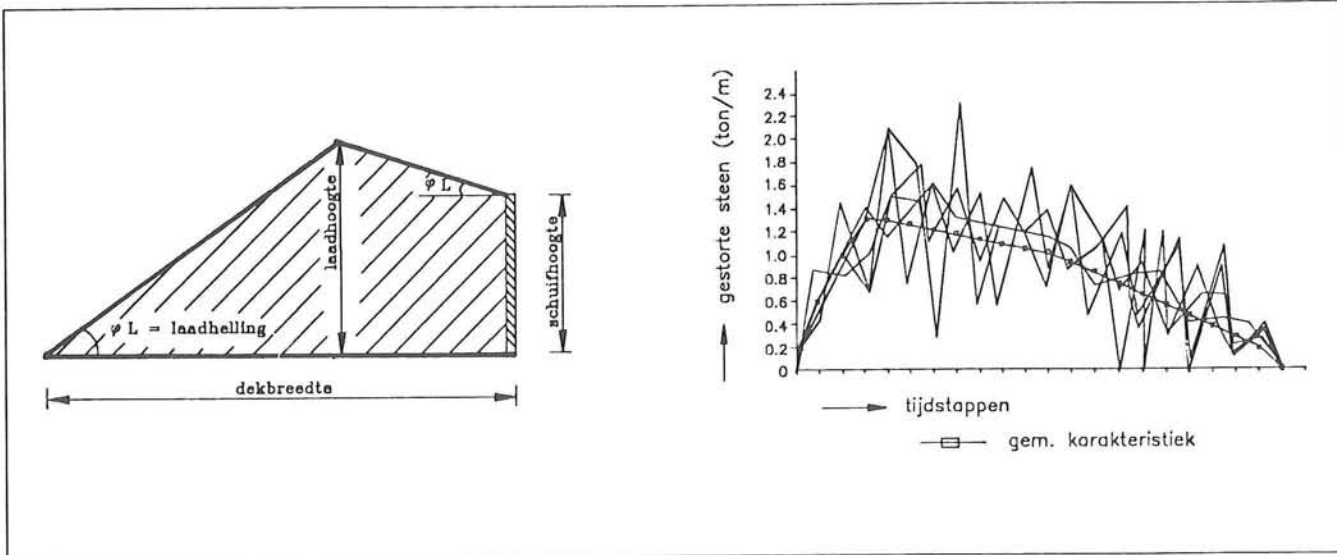


fig. 8.2 Beladingsvorm en gemiddelde stortkarakteristiek.

Bepalingsmethode optreden van een bres:

In het model wordt de stortlijn vertaald naar een aantal onafhankelijke stortpunten (= discretisatie). Voor elk van deze stortpunten wordt per tijdseenheid, op basis van de schuifsnelheid, de verplaatsing van de schuif sinds het vorig optreden van een bres berekend.

Op basis van de gemiddelde steendiameter en de afgelegde weg van de schuif, wordt er vervolgens bepaald of er weer bressen optreedt (bij een verplaatsing van meer dan 2 à 3 maal de gemiddelde steendiameter zal altijd afschuiving plaatsvinden). Dit criterium is gebaseerd op een aantal modelproeven (Lit.8) en blijkt de werkelijkheid (videoopnamen stortwerkzaamheden Oosterschelde) redelijk te beschrijven.

Indien bressen optreedt, wordt de hoeveelheid bepaald uit de theoretische stortkarakteristiek.

8.4 Modellerings verplaatsing en spreiding van materiaal

Er treedt spreiding op ten gevolge van uitwaaiing van materiaal in stilstaand water. Ten gevolge van de stroming wordt de steen verplaatst.

a: Spreiding van materiaal onder water t.g.v. uitwaaieren;

Op basis van een 60-tal fysische modelproeven (Lit.8) is een relatie afgeleid tussen de spreiding (y) en de waterdiepte (d), die afhankelijk is van de steenvorm (zie ook hoofdstuk 6.2.3. ad c).

Deze relatie heeft de volgende vorm:

Hoekig materiaal; $y = 1.9 * \sqrt{d}$
 Rond materiaal ; $y = 2.1 * \sqrt{d}$

b: Verplaatsing van materiaal onder invloed van stroming;

Onder invloed van de stroom wordt de steen verplaatst. De hiervoor aangehouden formules worden in hoofdstuk 6.2.3 ad.b beschreven.

Hierbij wordt rekening gehouden met de hoek van aanstroming, de stroomsnelheid en het schuileffect. (het verschil tussen het "kop" op stroom en het "dwars" op stroom storten)

Door de verschillende steendiameters in een sortering zal er in zekere mate ontmenging van de sortering door stroming en spreiding optreden. Dit effect wordt niet in "STORTSIM" meegenomen.

8.5 Modellerings spreiding materiaal bij bodemcontact

Van de optredende mechanismen wordt in de huidige schematisatie alleen het criterium van het overschrijden van de helling van natuurlijk talud gehanteerd. Mechanismen als rollen en botsen zijn (nog) niet gemodelleerd.

Het zogenaamde afvlakken in het model (volgens hoek van natuurlijk talud) geschiedt na een volledige stortslag.

HOOFDSTUK 9

STORTMETHODEN

9.1 Inleiding

Het aanbrengen van "dunne" bestortingslagen, te storten vanaf de waterlijn, kan op verschillende manieren plaatsvinden. Deze verschillen in de stortmethodiek hebben met name betrekking op;

- * Het al of niet verhalend storten.
- * Het "strooien" of "klappen" van het stortmateriaal.
- * Het aantal verhaalslagen (stortgangen) waarmee de gewenste laagdikte opgebouwd wordt.
- * Het éézijdig of tweezijdig storten.
- * De manier van aansluiting van de onderlinge stortvelden.

In dit hoofdstuk worden bovenstaande aspecten afgezet tegen het gebruik van een zijstorter en een splijtbak, en beoordeeld op de geschiktheid hiervan voor de in dit handboek bedoelde toepassingen.

9.2 Het al of niet verhalend storten

Het storten van materiaal vanaf het stortschip, kan plaats vinden door:

a. Storten zonder het stortschip te verhalen:

Tijdens het storten wordt het stortschip niet voortbewogen (verhaald) en handhaaft zich gedurende de gehele stortperiode op dezelfde positie.

b. Storten met discreet (stapjes) verhalen van het stortschip:

Hierbij wordt een van te voren vast te stellen hoeveelheid materiaal in één bepaalde positie van het stortschip gelost. Vervolgens wordt het stortschip naar een volgende positie verhaald, om weer een deel van de lading te storten enz.

c. Storten met continu verhalen van het stortschip:

Bij deze methode wordt het stortschip, gedurende de gehele losperiode van de lading, continu verhaald.

ad. a **Storten zonder verhalen.**

Tijdens het storten vindt, ten gevolge van uitwaaiing van materiaal in het water en contact van het materiaal met de bodem (wegrollen), spreiding van materiaal plaats. Afhankelijk van de waterdiepte, de geometrie van de bodem en de vorm van het materiaal, verkrijgt deze spreiding een zekere breedte (zie hoofdst. 6.2.3 ad. c). Bij het storten via deze methode wordt bedoelde stortbreedte reeds ná het storten van een relatief klein gedeelte van de lading bereikt, waarna met het overige deel van de

lading hoofdzakelijk de laagdikte wordt vergroot. In hoofdstuk 6.2.3 wordt de invloed van het gebruik van een schuifstorter en een splijtbak op het uiteindelijk stortresultaat (stortprofiel) uitvoerig beschreven.

Voor het storten van "dunne" lagen over een groot oppervlak is deze methode minder geschikt. Het niet verhalend storten kan bijvoorbeeld toegepast worden bij het aanbrengen van bestortingsvelden op onderwaterpijpleidingen en het aanbrengen van kaden en kernbestortingen e.d. Voor de bepaling van het stortprofiel, (lengte, breedte, laagdikte) bij de inzet van een schuifstorter, wordt voor deze stortmethode verwezen naar ad. b "discreet verhalen".

ad. b Discreet verhalen.

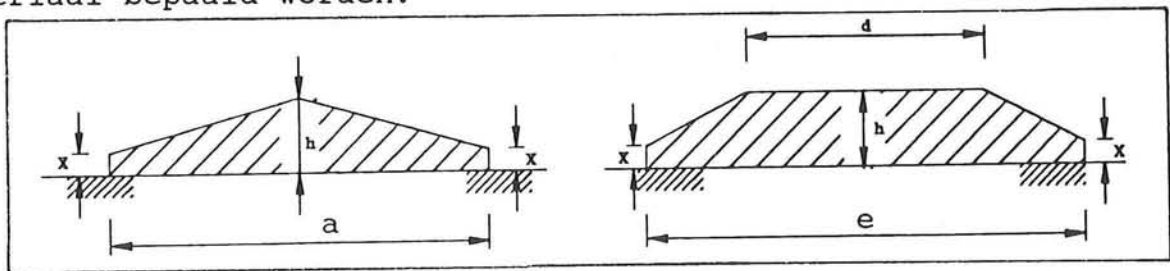
Discreet verhalen is mogelijk met een zijstorter en niet met een splijtbak. Namelijk, wanneer het stortproces bij een splijtbak eenmaal op gang gekomen is, kan dit niet meer worden gestopt. Onder ad. a is reeds opgemerkt dat bij het storten vanuit één vaste positie van het stortschip, afhankelijk van de waterdiepte, de vorm van het materiaal en de te storten hoeveelheid, een bepaald stortprofiel wordt verkregen. Op basis van uitgebreid fysisch modelonderzoek (Lit. 8) uitgevoerd met een zijstorter op waterdiepten van 10 tot 60 meter, is hier de volgende relatie vanaf geleid:

$$M = \left\{ \frac{(ax + ah)}{2} * \frac{(e + d)}{2} \right\} * (1-E) * \rho_{st}$$

waarin: (zie voor verklaring fig. 9.1)

- x = 1 maal de D50 van de steensortering. (m)
- a = breedte van de stort. (m) (zie grafiek fig. 6.10)
- h = hoogte van de stort. (gewenste laagdikte) (m)
- e = lengte van de stort. (m) (zie grafiek bijl. 5)
- d = kruinlengte van de stort. (m) (zie grafiek bijl. 5)
- E = poriëngehalte van de sortering. (-)
- ρ_{st} = dichtheid van het materiaal. (kg/m^3)
- M = massa van het stort. (beladingshoeveelheid in kg)

Aan de hand van deze formule kan voor een bepaalde waterdiepte, een gewenste laagdikte en de hiervoor benodigde hoeveelheid materiaal bepaald worden.



Figuur 9.1 Dwars- en lengtedoorsnede stort

Door na het storten van een bepaalde hoeveelheid materiaal (afhankelijk van het gewenste profiel) het storten te onderbreken en het stortschip over een bepaalde afstand vanuit de vorige positie opnieuw te positioneren, om vervolgens weer een hoeveelheid te storten, kan stapsgewijs een gewenst stortprofiel opgebouwd worden.

In figuur 9.2 wordt dit geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld voor een toplaagbestorting van een onderwater-pijpleiding.

Een nadeel van deze bestortingsmethode is, dat er vaak van positie gewisseld moet worden en hierdoor de kans op gebrekkige aansluitingen tussen de onderlinge stortvelden relatief groot is.

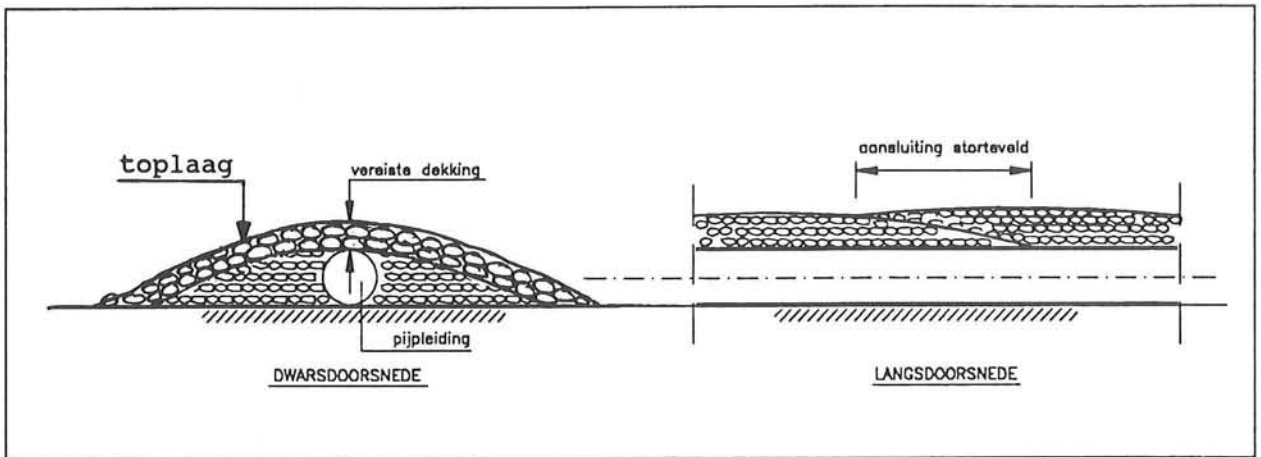


fig. 9.2 dwars- en langsdoorsnede bestorting op pijpleiding.

Voorbeeld:

Eisen vanuit het ontwerp;

toplaag van breuksteen 10/60 kg.
 dichtheid breukst. 2650 kg/m³.
 min. laagdikte 1*D50 = 0,22 m.
 max. laagdikte 2*D50 = 0.44 m.
 breedte stortveld min. 8.00 m.

Gevraagd:

Hoeveel materiaal moet er gestort worden om bij een waterdiepte van 30 meter aan de laagdikte- en breedte-eis te voldoen?

$$M = \left\{ \left[\frac{(10 * 0,22) + (10 * 0,44)}{2} \right] 25 \right\} * (1 - 0,35) * 2650$$

M = 145 ton stortmateriaal per stort.

Met deze hoeveelheid wordt over een stortveldbreedte van 10 meter aan de vereiste laagdikte voldaan.

Deze methode van discreet verhalen wordt in de praktijk, tot een waterdiepte van ca. 30 meter, vaak en met succes toegepast. Op grotere waterdiepten tot 150 meter, kan gebruik worden gemaakt van de zogenaamde valpijpmethode onder continu verhalen.

ad. c Continu verhalend storten.

Met deze methode, die zowel mogelijk is met een zijstorter als met een splijtbak, wordt het stortschip met een bepaalde regelmaat over het stortvak verhaald, waarbij er naar gestreefd dient te worden om de materiaalstroom zo gelijkmatig mogelijk het schip te doen verlaten. Door de aan te brengen laag in meerdere stortgangen aan te brengen, wordt de kans op discontinuïteiten in de laagdikte geminimaliseerd. T.a.v. de beperkingen m.b.t. de gradering, vormgeving en de D50 van het stortmateriaal bij het storten via deze methode met een splijtbak, wordt verwezen naar hoofdstuk 5.1.2.

Voor een zijstorter geldt; dat vanaf de sortering 300-1000 kg. en zwaarder, vanwege het effect van het individueel overboord vallen van het materiaal, verhalend storten niet is aan te bevelen. Een betere methode voor het storten van deze sorteringen is het discreet verhalend storten.

Voor het aanbrengen van "dunne" lagen, over een relatief groot oppervlak, blijkt in de praktijk het continu verhalend storten het best te voldoen.

9.3 Klappend, strooiend storten.

* Klappend storten:

Klappend storten is mogelijk met een splijtbak en niet met een zijstorter. Bij het klappend storten wordt de beun van de splijtbak, door het instellen van een grote beunopening, in korte tijd (binnen één minuut) geleidigd. Hierbij wordt gedurende korte tijd een compacte massa materiaal gestort, wat gepaard gaat met hoge valsnelheden (ca. 2 à 3 keer de evenwichtssnelheid van een individueel vallende steen). Hierdoor is de kans op het veroorzaken van schade aan de ondergrond groot.

Het klappend storten is een vrij onbeheerst proces en is zeker niet aan te bevelen voor het storten van "dunne" lagen. De bovengrens van de te storten sortering is afhankelijk van de maximaal in te stellen beunopening.

* Strooiend storten:

Bij het strooiend storten wordt de beun bij een splijtbak of de schuifsnelheid bij een zijstorter, zodanig ingesteld dat de lading, vergeleken met het klappend storten, gedurende een langere periode geleidelijk wordt gestort.

De splijtbak; Door de beun, afhankelijk van de steendiameter, te openen tot de gewenste beunopeningsgrootte is verkregen, wordt het schip verhaald en de lading langzaam gelost, om zodoende een regelmatige materiaalstroom te doen ontstaan. Deze wijze van storten levert geen nadelig effect op t.a.v. de verstoring van de ondergrond en is vergelijkbaar met het storten met een zijstorter.

Het strooiend storten met een splijtbak is mogelijk met uniform gegradeerd materiaal tot een diameter (D50) van ca. 0.20 à 0.25m. Voor deze diameter kan de beunopening zodanig ingesteld worden, dat verhalend kan worden gestort. (zie hoofdst. 6.2.2)

Echter, wanneer het stortproces eenmaal op gang gekomen is, kan het niet meer worden gestopt. Discreet verhalen met een splijtbak is derhalve niet mogelijk.

Evenals bij de zijstorter treedt er in het begin en aan het eind van het stortproces, een onregelmatigheid op in het bresgedrag. Bij een zijstorter wordt meestal gewacht met verhalen totdat zich een regelmaat in het bresgedrag voordoet. Bij de splijtbak is dit moeilijk visueel te constateren, doordat het materiaal het schip onder water verlaat.

De zijstorter: De kwaliteit van de aangebrachte laagdikte wordt voor een belangrijk deel bepaald door de regelmaat waarmee het schip zelf en de schuiven of het kettingdek van het schip worden voortbewogen. Bij het regelmatig voortbewegen van de schuiven of het kettingdek treedt een begin- en een eind- onregelmatigheid op. Deze onregelmatigheid aan het begin van het stort, wordt veroorzaakt doordat eerst het steenpakket wordt ingedrukt alvorens de eerste stenen overboord vallen. Daarna is de gestorte hoeveelheid per tijdseenheid vrijwel constant. Aan het eind van het stort neemt de per tijdseenheid gestorte hoeveelheid af, zodat ook hier een onregelmatigheid optreedt. Enkele voorbeelden van stortkarakteristieken (gestorte hoeveelheid materiaal als functie van de storttijd) worden voor een variërende beladingshoeveelheid en schuifsnelheid in hoofdstuk 6.2.2 weergegeven. De snelheid van de schuiven en of het kettingdek en de regelmaat van voortbewegen hiervan, kan vrij nauwkeurig worden ingesteld en worden afgestemd op de verhaalsnelheid van het stortschip. Tijdens het verhalen van het schip kunnen onregelmatigheden optreden in de koers en de verhaalsnelheid. Het zal duidelijk zijn dat deze onregelmatigheden van invloed kunnen zijn op het uiteindelijke stortresultaat (zie hoofdstuk 6.2.1).

9.4 Het aantal verhaalslagen (stortgangen) waarmee de laagdikte wordt opgebouwd.

In hoofdstuk 6.2.2 is reeds ingegaan op het onregelmatige verloop van het stortproces met als mogelijk gevolg een onregelmatige verdeling van de materialen op de bodem. Deze onregelmatige verdeling kan worden opgevangen door de totale laagdikte in meerdere stortgangen aan te brengen. Hierbij wordt de te realiseren laagdikte in meerdere dunne lagen aangebracht. Hierdoor wordt de kans op het zich steeds op dezelfde plaats voordoen van deze onregelmatigheid in het bresgedrag, kleiner. Het aanbrengen in meerdere stortgangen kan op een tweetal manieren plaatsvinden, te weten:

*** Stortvaklengte klein; (dakpansgewijs)**

Hierbij wordt de totaal benodigde hoeveelheid materiaal met één scheepslading in meerdere verhaalslagen aangebracht. Bij deze methode wordt het stortschip verschillende keren in dezelfde koers en over hetzelfde stortvak verhaald. Onregelmatigheden in de gestorte laagdikte doen zich voor aan de randen van het stortveld. Om een goede aansluiting te waarborgen tussen de onderlinge stortvelden, kan de volgende aan te sluiten stort, aangebracht worden met een langs- en dwarsoverlap. In figuur 9.3

wordt dit "dakpansgewijs" storten weergegeven. Deze methode van storten kan zowel uitgevoerd worden met een zijstorter als met een splijtbak.

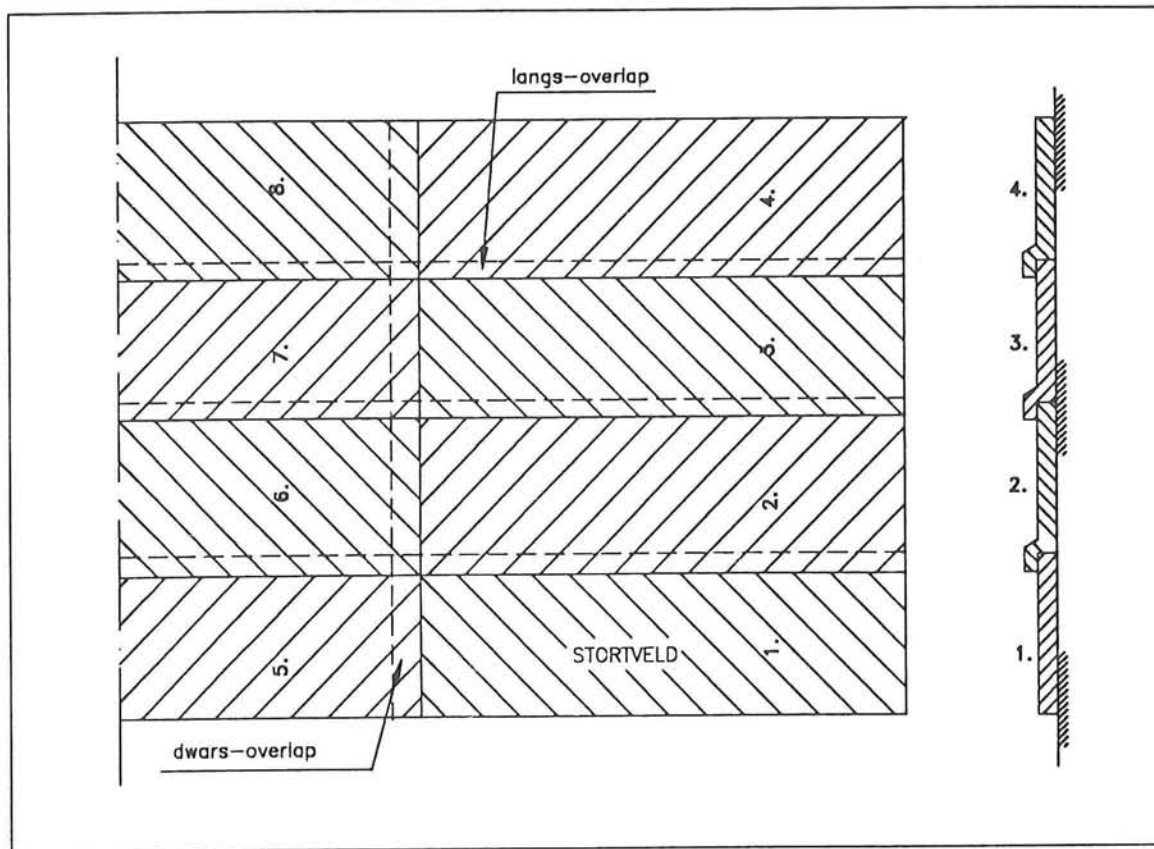


fig. 9.3 Dakpansgewijs storten.

*** Stortvaklengte groot; (halfsteensverband)**

Hierbij wordt de te realiseren laagdikte per stortvak met meerdere scheepsladingen in meerdere stortgangen aangebracht. Bij deze methode verspringen de stortvakken per laag zodanig, dat geen overlappen nodig zijn. Alleen aan de zijranden van het bestortingsveld komen onregelmatigheden voor. Deze methode, te storten volgens "halfsteensverband", kan enkel toegepast worden wanneer het bestortingsveld hiertoe voldoende ruimte aan het stortschip biedt. Deze methode wordt weergegeven in figuur 9.4. Vanwege het feit, dat het verhalen van een splijtbak meestal in combinatie plaatsvindt met een op draden verankerd ponton (zie hoofdst. 5.1.3), levert de ankerconfiguratie en de benodigde ankerdraadlengte een beperking op t.a.v de stortvaklengte en is deze stortmethode derhalve minder geschikt.

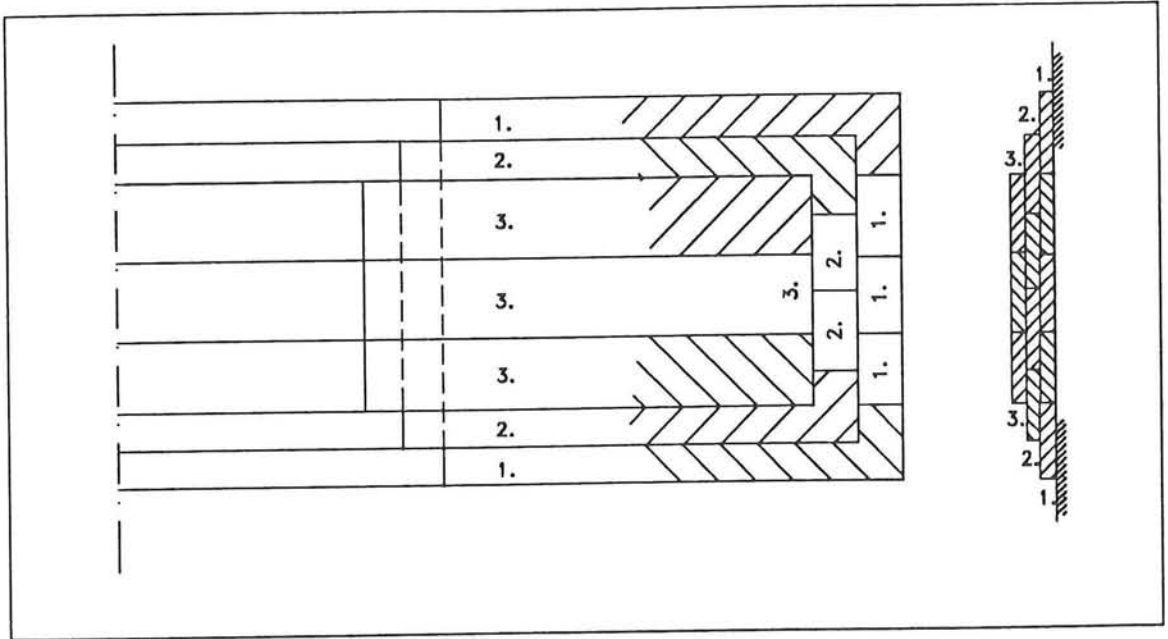


fig. 9.4 Storten volgens halfsteensverband.

9.5 Eénzijdig, tweezijdig storten.

Bij een splijtbak en een kettinglosser wordt de lading via één stortpunt, namelijk de beunopening respectievelijk het laaddek, gestort.

Bij een schuifstorter is het laaddek over het algemeen in lengterichting door de aanwezigheid van schuiven, in een bakboord- en een stuurboorddek verdeeld. Dit geeft in het storten een tweetal mogelijkheden:

- a. **Eénzijdig storten:** Hierbij wordt de inhoud van één laaddek (stuur- of bakboord), afhankelijk van de stortvaklengte, in één of meerdere verhaalslagen gestort. Daarna gebeurt hetzelfde met het tweede laaddek. Dit kan uitgevoerd worden door heen en weergaande verhaalslagen, maar ook door opnieuw terug te stellen naar het beginpunt. (zie fig. 9.5)
- b. **Tweezijdig storten:** Hierbij wordt de inhoud van beide laaddekken in meerdere stortgangen tegelijk gestort. Aan het beginpunt wordt met één dek begonnen. Pas wanneer over een afstand, gelijk aan de breedte van het stortschip, is verhaald, wordt ook met het andere dek begonnen. Aan het einde van het stortvak gebeurt dit in omgekeerde volgorde. (zie fig. 9.6)

Het tweezijdig storten wordt wel toegepast wanneer, in verband met de slagzij van het schip bij éénzijdig storten, niet of moeilijk bijgetrimd kan worden.

Tevens kan een bepaalde slagzij van invloed zijn op de regelmaat van het bresgedrag. Wil men in zo'n geval toch éénzijdig storten, dan moet men beide laaddekken steeds beurtelings gedeeltelijk storten. Dit is echter lastig bij te houden en te registreren.

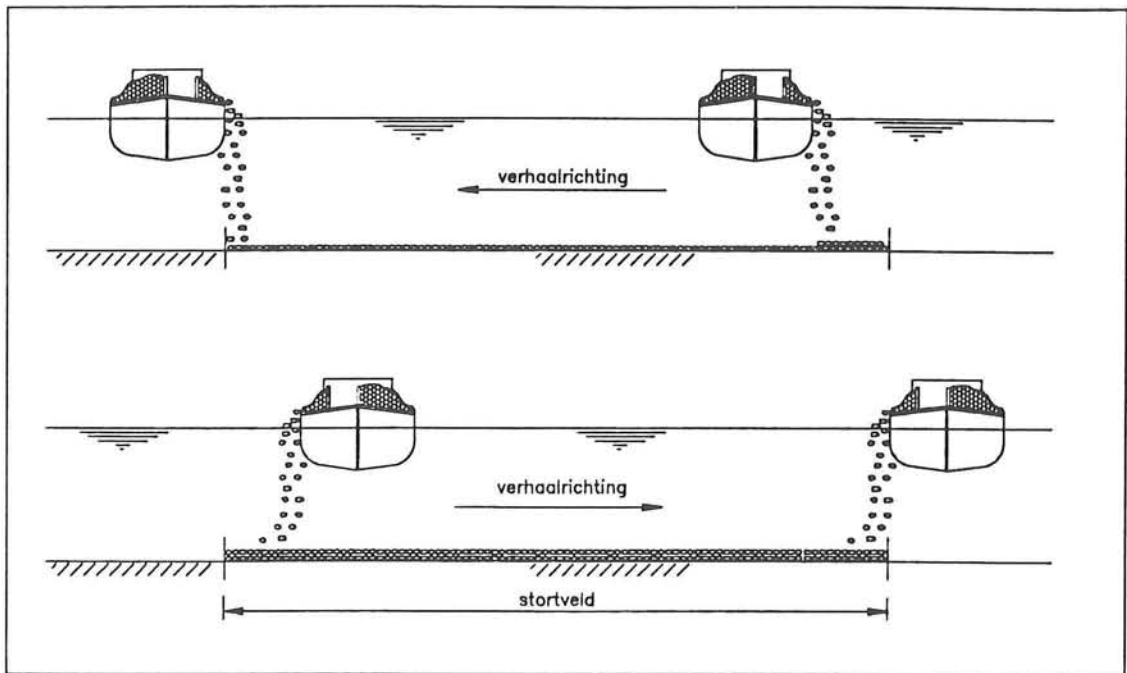


fig. 9.5 éénzijdig storten.

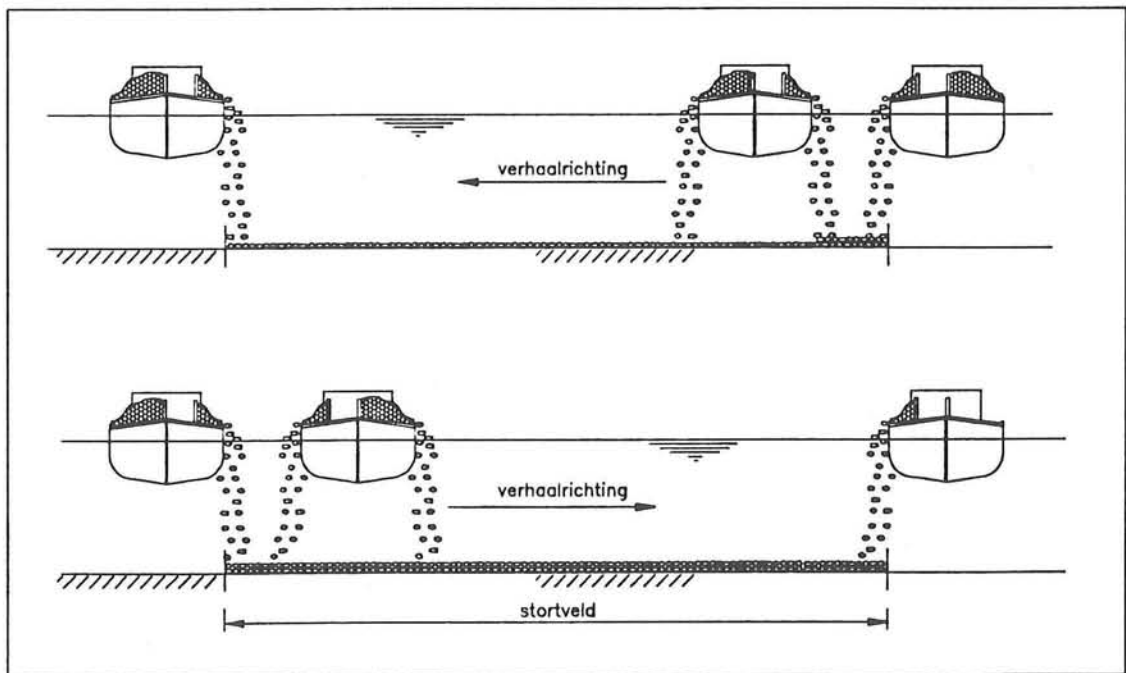


fig. 9.6 tweezijdig storten.

9.6 Samenvatting

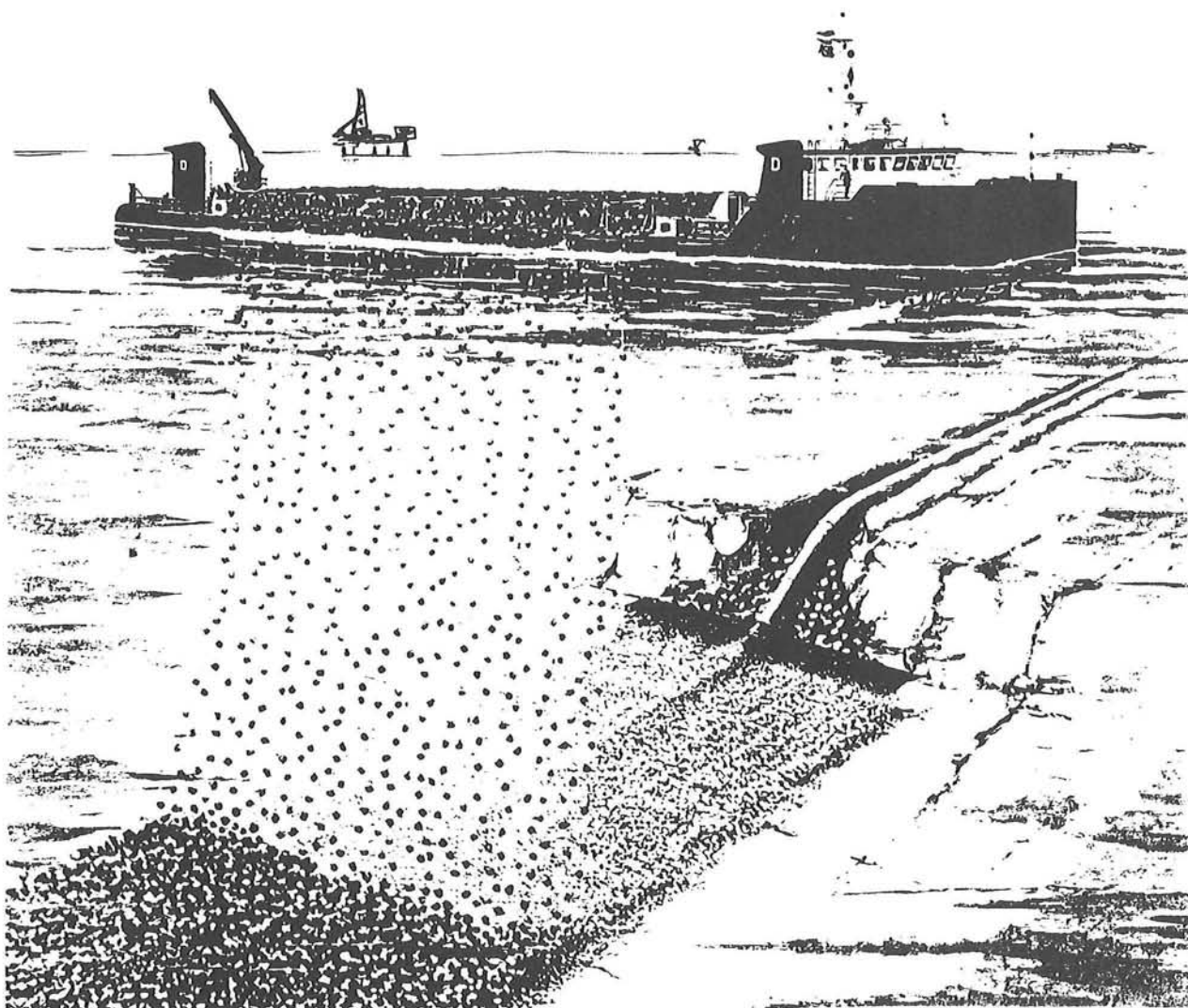
Uit het voorgaande blijkt, dat de keuze van een bepaalde stortmethode voor het aanbrengen van dunne lagen, afhankelijk is van het type stortschip, het te storten materiaal en de aard van de te realiseren constructie.

In het algemeen kan gesteld worden dat voor het storten van dunne lagen vanaf de waterlijn, strooiend storten met een continu-verhalend stortschip, als beste methode in aanmerking komt. Wanneer om welke reden dan ook het verhalend storten niet

mogelijk is, kan discreet verhalend storten worden overwogen. In figuur 9.7 en 9.8 wordt, per type stortschip, hoofdstuk 9 schematisch weergegeven en samengevat. Voor de beschrijving van het materieel, de aard van de te maken constructie en het stortmateriaal, wordt verwezen naar respectievelijk de hoofdstukken 5, 2, en 3.

De nummers 1, 2, 3, en 4 in de figuren 9.7 en 9.8 staan voor:

- 1; Verdedigingsconstructie opgebouwd uit granulair materiaal.
- 2; Verdedigingsconstructie opgebouwd uit granulair materiaal op geotextiel.
- 3; Kaden en kernbestortingen opgebouwd uit granulair materiaal.
- 4; Beschermconstructie opgebouwd uit granulair materiaal op onderwater-pijpleidingen e.d.



Het bestorten van een onderwater pijpleiding met een zelfpositionerende en vrijvarende schuifstorter.

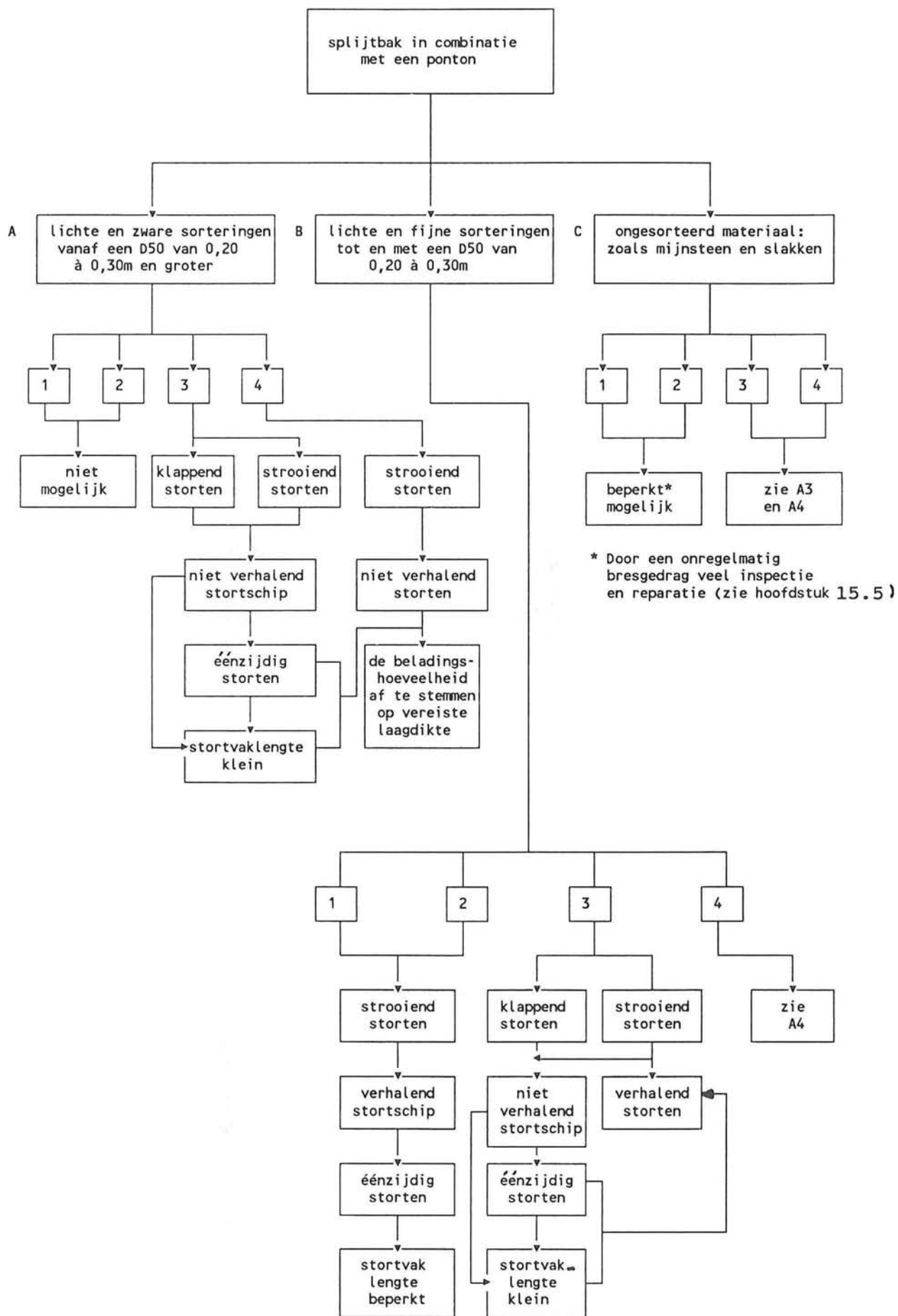


fig. 9.7 stroomschema stortmethode splitsbak

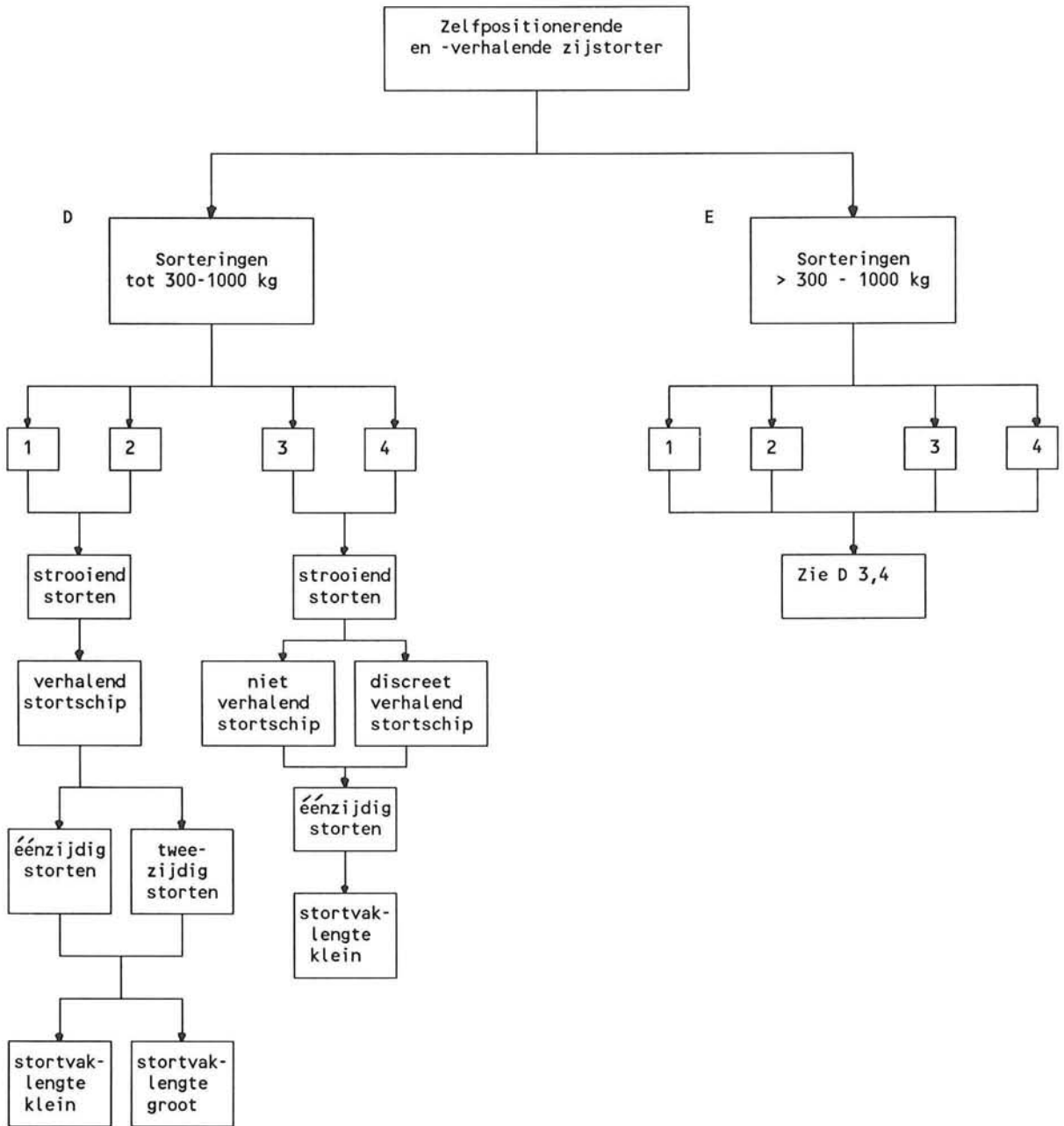


fig. 9.8 stroomschema stortmethode zijstorter

HOOFDSTUK 10

DE STELLEN EISEN AAN HET STORTPROCES

10.1 Inleiding.

In de hoofdstukken 6, 7 en 9 zijn via de analyse van het stortproces en de stortmethodiek, de stortresultaat bepalende factoren vastgesteld. Het beheersen van het stortproces kan enkel worden bereikt wanneer deze invloedsfactoren vertaald worden naar eisen aan de procesuitvoering. Met het aangeven van deze eisen wordt bereikt, dat van te voren bekend is waar bij de uitvoering in het bijzonder op moet worden gelet en met welke middelen. Zodoende ontstaat er een plan voor selectieve controle. (zie hoofdstuk 11)

De voorgaande hoofdstukken recapitulerend, dienen de volgende kwalitatieve eisen aan de procesuitvoering te worden gesteld:

- * Stortmateriaal;
 - zie hoofdstuk 3 en 4.6.
- * Stortmateriaal in relatie tot keuze stortmiddel;
 - zie de hoofdstukken 5,6 en 9.
- * Belading van het stortschip (zie hoofdstuk 4.7 en 10.2.1);
 - valhoogte tijdens overlage stortmateriaal
 - opbouw depot v.w.b. hoogte en taluds
 - beladingsvorm van het stortschip
 - beladingshoeveelheid.
- * Materieel (zie hoofdstuk 5.1, 5.2 en 10.2.2);
 - nauwkeurigheid plaatsbepalingssysteem
 - manoeuvreer- en verhaalgedrag van het stortschip
 - afstemming verhaalsnelheid stortschip op schuifsnelheid of beunopeningsgrootte
 - éénzijdig, tweezijdig storten
- * Stortmethode (zie hoofdstuk 9 en 10.2.3);
 - aantal stortgangen (verhaalslagen)
 - plaats van optreden begin- en eindonregelmatigheid in bresgedrag
 - positie stortschip t.o.v. de stroomrichting
 - positioneercorrectie a.g.v. stroomsnelheid en - richting, alsmede de afzet
 - strooiend storten
 - dakpansgewijze opbouw van de laagdikte of opbouw in halfsteensverband
 - volgorde van de stortgangen bij het storten van onderwatertaluds.
- * Omgevingscondities (zie hoofdstuk 4.2.3 en 10.2.4);
 - stroombegrenzing waaronder gestort mag worden
 - windkracht en golfhoogte
 - obstakels
 - waterdiepte.

10.2 Programma van eisen

10.2.1 Belading van het stortschip

De te storten hoeveelheid materiaal per vierkante meter, in relatie tot de beladingshoeveelheid van het stortschip, bepaalt de uiteindelijke stortvaklengte. (zie hoofdstuk 10.2.3). Hierdoor mag de volgens het beladingsplan opgegeven hoeveelheid materiaal met niet meer dan 5 % worden over- of onderschreden. Ook de beladingsvorm is van groot belang. Het zal duidelijk zijn dat, wanneer de benodigde hoeveelheid materiaal niet gelijkmatig over de gehele stortlengte van het schip is verdeeld, dit van invloed zal zijn op de regelmatigheid van het bresgedrag van het materiaal.

Daarom moet niet alleen de hoeveelheid materiaal gelijkmatig worden verdeeld, maar moet tevens over de gehele laadlengte zoveel mogelijk eenzelfde dwarsprofiel aangehouden worden. Een ander belangrijk aspect is, dat het beladen op zich zorgvuldig dient te gebeuren, zodat een mogelijke ontmenging en breuk van het materiaal voorkomen wordt.

10.2.2 Stortmaterieel

10.2.2.1 Nauwkeurigheid plaatsbepalingssysteem.

Voor de plaatsbepaling van het stortschip kan gekozen worden uit verschillende systemen. (zie hoofdstuk 5.2)

Voor een optimale procesbewaking is het van belang dat de benodigde plaatsbepalingsgegevens on-line gepresenteerd worden op een beeldscherm. Door een regelmatige positiebepaling kunnen afwijkingen in zowel de verhaalsnelheid als in de koers geconstateerd worden, waarop dan door de schipper of de stuurautomaat gereageerd en gecorrigeerd kan worden. Ten behoeve van de kwaliteitscontrole achteraf dienen met een bepaalde tijdsinterval (bijv. om de 10 sec), de positiegegevens geplot te worden. Op bijlage 6 wordt een voorbeeld van een dergelijke presentatie gegeven.

10.2.2.2 Manoeuvrerbaarheid stortschip.

Onder manoeuvrerbaarheid wordt verstaan; de bestuurbaarheid van het stortschip onder de heersende omgevingscondities, zoals stroom, wind en golven. De praktijk leert dat een handmatige besturing een onregelmatiger gedrag van het stortschip vertoont dan wanneer gebruik wordt gemaakt van een Dynamic Position System. (stuurautomaat)

Een 2 sigma-waarde van 2 à 2.50 meter in zowel de x- als de y-richting tijdens het positioneren en het verhalend storten, blijkt in de praktijk goed haalbaar zonder dat dit ten koste gaat van de te realiseren kwaliteit. Bij een dergelijke positionerings- en verhaalnauwkeurigheid behoort uiteraard een plaatsbepalingssysteem met een navenant grotere meetnauwkeurigheid.

10.2.2.3 Afstemming verhaalsnelheid op schuifsnelheid c.q. beunopeningsgrootte

In verband met een optimale afstemming van het aantal verhaalslagen (verhaalafstand) en de plaats van het optreden van de begin- en eindonregelmatigheid in het bresgedrag, is het een vereiste, dat bij een zijstorter de schuifsnelheid kan worden ingesteld en dat de schuif met een constante regelmaat voortbewogen kan worden.

Bij de splijtbak is het van belang dat, afhankelijk van het stortmateriaal en de te realiseren storttijd, de juiste beunopeningsgrootte kan worden ingesteld. (zie hoofdstuk 6.2.2, fig. 6.4).

10.2.2.4 Eénzijdig, tweezijdig storten

Afhankelijk van de trimmogelijkheden van het stortschip (enkel bij zijstorter) kan de keus worden gemaakt uit enkelzijdig of tweezijdig storten.

Wanneer de trimvoorziening onvoldoende of niet aanwezig is en de slagzij van het stortschip zodanige vormen aanneemt dat dit het bresgedrag beïnvloedt, dient éénzijdig te worden gestort (zie hoofdstuk 9.5).

10.2.3 Stortmethodiek

10.2.3.1 Aantal stortgangen (verhaalslagen)

In hoofdstuk 6.2.2 is reeds ingegaan op het onregelmatige verloop van het bresgedrag, met als nadelig gevolg een onregelmatige verdeling van het stortmateriaal op de bodem. Het is daarom van belang, dat er een eis wordt gesteld aan het aantal verhaalslagen waarmee de laagdikte wordt opgebouwd. Bij toepassing van meerdere (minimaal twee) verhaalslagen wordt een willekeurige (random) verdeling van het materiaal op de bodem verkregen. Het aantal verhaalslagen van het stortschip wordt enerzijds bepaald door de beschikbare storttijd (stroombegrenzing waaronder mag worden gestort) en anderzijds door de afstemming van de schuifsnelheid c.q. beunopening op de praktisch haalbare verhaalsnelheid van het stortschip. Ter verduidelijking wordt onderstaand een voorbeeld uitgewerkt voor het bepalen van het aantal verhaalslagen bij het storten met een schuifstorter. Voor dit voorbeeld gelden de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden (zie ook hoofdstuk 9.4);

- * Laadcapaciteit stortschip 1100 ton, 550 ton stuurboorddek, 550 ton bakboorddek.
- * Laaddekbreedte 6.50 meter per laaddek.
- * Lengte van het laaddek 28.00 meter.
- * Schuifsnelheid 0.65 m/min. (constante snelheid).
- * Praktische verhaalsnelheid stortschip 12 tot 24 m/min.
- * Beschikbare storttijd (kenteringsvenster) 30 minuten.
- * Te storten hoeveelheid materiaal gemiddeld 700 kg/m².
- * Uitgangspunt is éénzijdig storten.

Daar het bestortingsveld voldoende ruimte biedt aan het stortschip, kan continu verhalend worden gestort. De beladingshoeveelheid van de schuifstorter bedraagt 2x550 ton en de laaddek lengte 28 m, hieruit volgt een storttijd van:

$$\frac{\text{laaddekbreedte}}{\text{schuifsnelheid}} = \frac{6.50 \text{ m}}{0.65 \text{ m/min}} = 10 \text{ min./laaddek.}$$

Er moet gemiddeld $0.7 \text{ t/m}^2 \times 28\text{m} = 19.6 \text{ ton/m}^1$ gestort worden. Hiermee wordt de totale stortvaklengte:

$$\frac{1100 \text{ ton}}{19,6 \text{ ton/m}^1} = 56\text{m}^1$$

Bij het ééNZijdig storten kan per laaddek (550 ton) het aantal verhaalslagen afgestemd worden op de beschikbare storttijd en zodoende een praktische verhaalsnelheid gekozen worden. Voor twee verhaalslagen geldt:

$$\frac{\text{verhaalafstand } 2 \times 56\text{m}^1}{\text{storttijd } 10 \text{ min}} = 11,2 \text{ m/min}$$

Voor vier verhaalslagen geldt:

$$\frac{4 \times 56\text{m}^1}{10 \text{ min}} = 22,4 \text{ m/min}$$

In dit voorbeeld is het mogelijk om binnen de beschikbare storttijd van 30 minuten, het stortveld in 3 of 4 verhaalslagen per laaddek aan te brengen.

Bij het gebruik van een slijtbak wordt de verhaalsnelheid en hiermee het aantal stortgangen, bepaald door de beschikbare storttijd, die afhankelijk is van de afstemming tussen het stortmateriaal en de beunopeningsgrootte. (zie fig. 6.4) Voorts geldt bij een slijtbak dat, wanneer het stortproces eenmaal begonnen is, dit niet meer gestopt kan worden.

10.2.3.2 Plaats van optreden begin- en eindonregelmatigheid bresgedrag

Aan het begin en aan het eind van het stortproces treden onregelmatigheden op in het bresgedrag en hiermee in de te realiseren laagdikte. (zie hoofdstuk 6.2.2) Dit storende verschijnsel kan tegengegaan worden door gedurende het optreden van deze onregelmatigheid, het stortschip niet te verhalen. Op het moment waarop een regelmatige materiaalstroom overboord gaat, wordt met verhalen begonnen en aan het eind wordt gestopt met verhalen, wanneer deze onregelmatigheid zich opnieuw voordoet. De moeilijkheid hierbij is om de juiste storttijd, waarbij deze onregelmatigheid optreedt, te bepalen om zodoende toch verzekerd te zijn dat voldaan wordt aan de vereiste hoeveelheid te storten materiaal. Theoretisch kan dit worden benaderd door, wanneer de spreiding van het stortmateriaal bekend is, de inhoud van het stort te bepalen (zie hoofdst. 9.2) en aan de hand van de stort-

karakteristiek na te gaan hoeveel tijd benodigd is voor het storten van deze hoeveelheid.

Een andere mogelijkheid is om deze onregelmatigheden in zijn geheel buiten het theoretisch aan te brengen stortveld te doen plaatsvinden. (bijv. in de dwarsoverlap)

10.2.3.3 Positie stortschip t.o.v de stroomrichting.

Wanneer om praktische redenen de noodzaak aanwezig is om onder stroomcondities te moeten storten, dient rekening gehouden te worden met het feit, dat het stortmateriaal een zekere verplaatsing ondergaat. De grootte van deze verplaatsing kan bepaald worden met de formules, zoals gegeven in hoofdstuk 6.2.3 ad. b. Deze verplaatsingsgrootte is de afstand die gecorrigeerd moet worden op de positie van het stortschip.

Bij het storten op stroom kan onderscheid gemaakt worden in de volgende situaties:

- * **Kop op stroom storten;** Hierbij ligt het schip gestrekt op de stroomrichting.
- * **Dwars op stroom storten;** Hierbij ligt het schip loodrecht op de stroomrichting.
- * **Onder een stroomhoek storten;** Hierbij ligt het schip onder een bepaalde hoek t.o.v de stroomrichting.

Het "kop op stroom storten" verdient ten alle tijd de voorkeur boven de andere methoden. Alleen, wanneer om praktische redenen hier niet aan voldaan kan worden, komen de andere stortmogelijkheden in aanmerking.

10.2.3.4 Positioneercorrectie stortschip als gevolg van stroomsnelheid en -richting alsmede de middenstandsverschuiving (afzet)

Tijdens het positioneren en het verhalend storten moet, afhankelijk van de in hoofdstuk 6.2.3 genoemde variabelen, rekening worden gehouden met het toepassen van een plaatscorrectie van het stortschip. Behalve deze correctie dient eveneens gecorrigeerd te worden op de afzetgrootte. (zie hoofdstuk 6.2.3 ad. a) De grootte van deze zogeheten middenstandsverschuiving is afhankelijk van de aard van het stortmateriaal (hoekig, rond) en de waterdiepte.

Bij het niet verhalend en discreet storten moet naast de bovenbedoelde verschijnselen ook rekening worden gehouden met de natuurlijke spreiding van het materiaal. (uitwaaiing) In hoofdstuk 6.2.3 ad c. wordt dit verschijnsel nader toegelicht. De toe te passen correctie op de positie van het schip ten opzichte van de theoretische begrenzing van het stortvak, wordt in figuur 10.1 weergegeven.

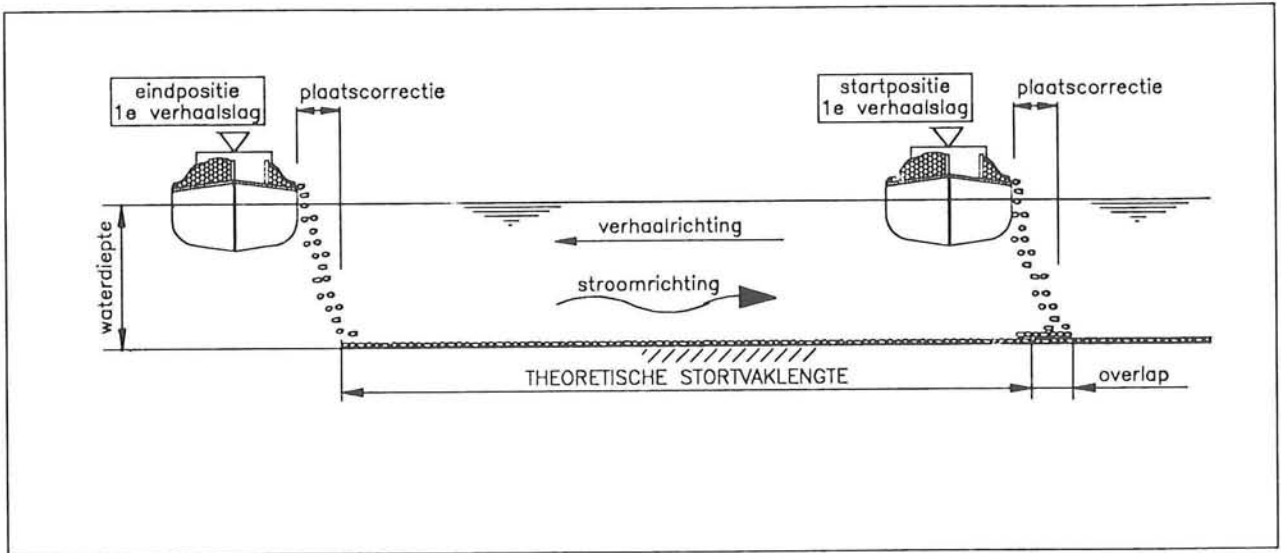


fig. 10.1 plaatscorrecties bij het verhalend storten.

10.2.3.5 Strooiend storten.

Voor het aanbrengen van "dunne" lagen granulair materiaal, zoals bedoeld in dit handboek, geldt als eis dat bij zowel verhalend als discreet storten, het materiaal strooiend aangebracht dient te worden.

Het klappen van materiaal (zie hoofdstuk 9.3) is voor de hier bedoelde toepassing niet aan te bevelen. Klappend storten wordt in het algemeen toegepast voor kernbestortingen in ondiep water, waar de nauwkeurigheid een lage prioriteit heeft.

10.2.3.6 Dakpansgewijs of halfsteensverband storten

Voor de laagopbouw van het stortveld kan in principe gekozen worden uit de bovenbedoelde stortmethoden. (zie hoofdstuk 9.4) Bij het gebruik van een splijtbak als stortmiddel verdient de dakpansgewijze methode de voorkeur. Dit vanwege de praktisch haalbare verhaalafstand (stortvaklengte) van het positioneer- en verhaalponton (ankerconfiguratie ponton) en de relatief korte beschikbare storttijd. (zie fig. 6.4) Bij toepassing van deze stortmethode dient gestort te worden met een overlap. De overlap in lengterichting wordt hierbij gecreëerd door de natuurlijke kopse spreiding van het materiaal (zie hoofdstuk 6.2.3 ad.c). Voor het vaststellen van een verantwoorde grootte van de dwarsoverlap is bekendheid nodig omtrent de grootte van de variabelen, die afhankelijk zijn van o.a het manoeuvreergedrag en de positioneringsnauwkeurigheid van het stortschip. In onderstaand voorbeeld wordt aangegeven hoe de te hanteren overlapgrootte in dwarsrichting bepaald kan worden.

*	Invloedsfactoren overlapgrootte voor- en achterkant stortveld:	
-	Positioneringsnauwkeurigheid stortmiddel	2.00 m
-	Variatie in de verhaalsnelheid	n.v.t.
-	Invloed scheepsbeweging (rollen, stampen)	0.20 m
-	Onregelmatigheid in bresgedrag	n.v.t.
-	Variatie van de in rekening te brengen stroomcompensatie	1.00 m
-	Variatie in spreidingsgrootte van het materiaal (uitwaaiing)	0.00 m
-	Nauwkeurigheid plaatsbeëindiging vorige stort	0.50 m

De te hanteren overlapgrootte kan op een eenvoudige manier bepaald worden met de worteltruc. (statistische methode om fouten of nauwkeurigheden van niet correlerende foutenbronnen te sommeren) Uit het hier bedoelde voorbeeld blijkt, dat de invloed van de positionering van het stortschip en de variatie van de in rekening te brengen stroomcompensatie, de belangrijkste factoren zijn, die de uiteindelijke overlapgrootte van ca. 2.50 m. bepalen.

Bij het gebruik van een zijstorter kan het stortveld zowel dakpansgewijs als in halfsteensverband aangebracht worden. Voor het aanbrengen in halfsteensverband geldt, dat door het verspringend aanbrengen van de onderlinge stortvelden, geen overlap toegepast dient te worden. Deze methode is alleen geschikt wanneer het bestortingsveld hiertoe voldoende ruimte biedt aan het stortschip. Voorts is deze methode minder geschikt om toegepast te worden op plaatsen die sterk onderhevig zijn aan sedimentatie. Namelijk door het relatief lang overliggen van een gedeelte van de gerealiseerde stort, is de kans op sedimentinsluiting groot (zie ook hoofdstuk 4.7.4).

In hoofdstuk 16 worden beide stortmethoden gesimuleerd met het computermodel "Stortsim" en met elkaar vergeleken op de totaal te storten hoeveelheid materiaal als functie van de gerealiseerde laagdikte.

10.2.3.7 Volgorde stortgangen (verhaalslagen) bij de bestorting van onderwatertaluds.

Het aanbrengen van bestortingen op onderwatertaluds, zoals geulranden e.d., verdient bijzondere aandacht.

De praktijk leert dat hellingen tot 1:3 en flauwer zonder al te veel materiaalverlies strooiend afgestort kunnen worden. Het is belangrijk dat hierbij de verhaalslagen van het stortschip van de onderkant naar de bovenkant van het talud worden uitgevoerd. Door niet al te grote massa's bestortingsmateriaal tegelijk te storten (strooien) is de kans klein, dat er zodanige valsnelheden worden bereikt, dat er gaten in de taluds worden geklapt. Het natuurlijke talud van de stenen is van belang bij het storten van drempels of dikke lagen. Bij het (verhalend) storten van dunne lagen speelt het natuurlijk talud van de stenen nauwelijks een rol.

Wanneer hellingen steiler dan 1:3 afgestort dienen te worden, is het van belang dat de helling eerst uitgevuld wordt met een relatief goedkoop materiaal tot een helling van ca. 1:3 is

bereikt. Hierna kan het geheel afgestort worden volgens de hier bedoelde stortmethode.

10.2.4 Omgevingcondities

10.2.4.1 Stroombegrenzing

Bij het storten van sterk gegradeerd materiaal vanaf de waterlijn is het gevaar van ontmenging van de sortering groot. Het gevolg kan zijn dat een inhomogeen filter ontstaat, waarbij de grove fractie onder en de fijne fractie boven ligt, waardoor het filter niet zal functioneren zoals beoogd (zie hoofdstuk 4.6.2 en 4.7.6). Ter voorkoming van dit nadelige verschijnsel moeten, afhankelijk van de gegradeerdheid en de korreldiameter van het materiaal, eisen gesteld worden aan de maximale stroomsnelheid waaronder gestort mag worden. Tot een waterdiepte van ca. 40 meter gelden de volgende praktische eisen:

- Uniform gegradeerde mengsels (verhouding D_{90}/D_{10} 2 à 3) met een D_{50} van 0.20 m en groter, te storten binnen een stroomsnelheidsvenster van 0.5 m/sec, en met een D_{50} variërend tussen de 0.03 en 0.20 m binnen een venster van 0.3 m/sec.
- Breed gegradeerde mengsels (verhouding $D_{90}/D_{10} > 3$) met een $d_{50} \geq 0.03$ m, te storten binnen een stroomsnelheidsvenster van 0.3 m/sec.
- Breed en uniform gegradeerde mengsels tot een D_{90} van 0.03 m dienen gestort te worden op kentering (stilstaand water). Daar dit veelal praktisch onhaalbaar is, worden dergelijke sorteringen gecontroleerd aangebracht door bijv. gebruik te maken van de valpijpstortmethode.

Uit het bovenstaande blijkt dat de stroomsnelheid waaronder gestort mag worden, een belangrijke kwaliteitsparameter is. In verband met de beschikbare storttijd (verhaalslagen, verhaalsnelheid) is het belangrijk, vooraf informatie te hebben over het stroomsnelheidsvenster.

Een zekere periode vóór het storten en tijdens de stortoperatie zelf dient als eis te worden gesteld dat de gemiddelde stroomsnelheid en -richting, ter plaatse of in de directe omgeving van het te bestorten gebied, gemeten moet worden.

10.2.4.2. Windsnelheid en golfhoogte

Golven en wind kunnen van invloed zijn op de werkbaarheid van het stortschip. Deze omgevingscondities kunnen ofwel eisen opleggen aan de zeewaardigheid en manoeuvreerbaarheid van het stortschip, ofwel eisen stellen aan de golfhoogte en windsnelheid waaronder gestort mag worden.

10.2.4.3 Obstakels

De aanwezigheid van obstakels, zoals bijv. bij het bestorten van pijlers of het aanbrengen van stortmateriaal in de directe omgeving van kunstwerken, kunnen eisen opleggen aan de manoeuvreerbaarheid en de grootte van het stortschip.

10.2.4.4 Waterdiepte

De heersende waterdiepte ter plaatse van het stortgebied of de diepte ter plaatse van de laadplaats, kunnen eisen opleggen aan het stortschip, die betrekking hebben op de diepgang en/of beladingshoeveelheid van het schip.

HOOFDSTUK 11

KWALITEITSBEHEERSING STORTPROCES

11.1 Inleiding

Kwaliteitsborging is zo oud als vakmanschap, echter de industriële revolutie en de daarop volgende massaproductie van consumentenprodukten, noodzaakte tot een wetenschappelijke aanpak van de kwaliteitsbeheersing in de industrie. In de civiele technische wereld is kwaliteitsborging nog niet wijd verbreid. Een veel gehoord argument tegen invoering van een kwaliteitssysteem in de civiele bouw is, dat de aard van de bedrijfstak zich er niet toe leent. Men werkt telkens met andere mensen op een andere plaats aan een ander project. Dit pleit er juist voor om de kwaliteit systematisch aan te pakken. Namelijk als een bedrijf zich in de markt wil onderscheiden van haar concurrenten zal zij het project beter, in kortere tijd en tegen een gelijke of lagere prijs moeten uitvoeren.

Dit kan echter alleen als de leiding van het bedrijf weet op welke bedrijfsspecifieke wijze een project wordt aangepakt, hoe de inkoop wordt beheerst, wat de normen zijn voor afwerking, welke kwaliteit van personeel noodzakelijk is en hoe dat personeel gemotiveerd kan worden (lit. 12).

Kwaliteit, in de zin van het voldoen aan eisen en vanzelfsprekende behoeften en waar nodig het aantonen ervan, kan in het algemeen niet alleen bereikt worden door het eindprodukt aan een strenge keuring te onderwerpen. Een argument tegen de inspectiefilosofie van achteraf keuren en meten is, dat men in feite achter het net vist, fouten worden pas ontdekt nadat ze gemaakt zijn en daarom is het beter van begin af aan te streven naar het vermijden van fouten. Dit betekent dat de aandacht van de gehele organisatie er steeds op gericht dient te zijn, in elke fase van het voortbrengingsproces, de kwaliteit te handhaven en eventueel te verbeteren.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op die aspecten die betrekking hebben op de toepassing van een hanteerbare techniek en de doeltreffende activiteiten, die plaats moeten vinden om een goede waarborg te krijgen dat het eindresultaat bestorting aan de gestelde eisen zal voldoen.

11.2 Principe kwaliteitsbeheersing

De vraag is hoe men op systematische wijze een beheersing van de kwaliteit in de verschillende deelprocessen van het totale stortproces kan bereiken.

De grondgedachte achter kwaliteitsbeheersing is, dat de eindkeuring op het resultaat aangevuld wordt door vooraf te toetsen op; personeel, uitrusting, grondstoffen en instructies (zie figuur 11.1).

De in deze figuur aangegeven driehoeken geven de toetsen weer. De open driehoek betreft een normale toets tegen de vooraf vastgestelde normen. De gesloten driehoek geeft een zogenaamde dynamische toets weer: een kritische evaluatie van zowel de goedgekeurde als de afgekeurde zaken moeten leiden tot een kritische toetsing van de norm zelf.

Voor elke belangrijke activiteit dient nagegaan te worden door middel van welke toetsen men een goede waarborg kan krijgen, dat het eindresultaat aan de gestelde eisen zal voldoen (lit. 13).

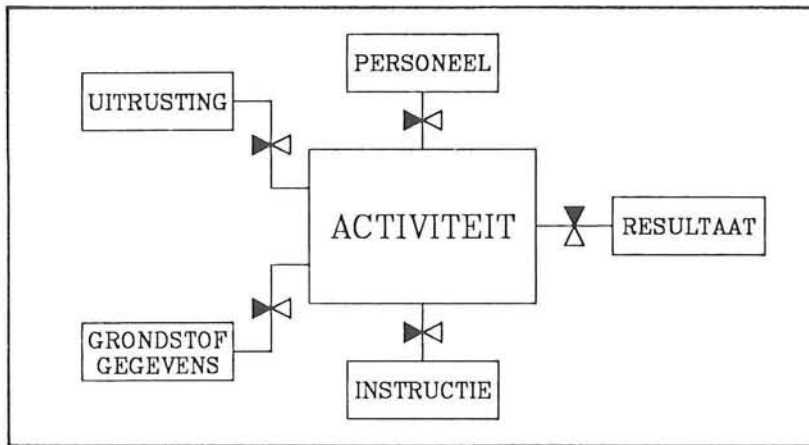


fig. 11.1 Toetsaspecten bij kwaliteitsbeheersing

11.3 Kwaliteitsbeheersingsactiviteiten stortproces

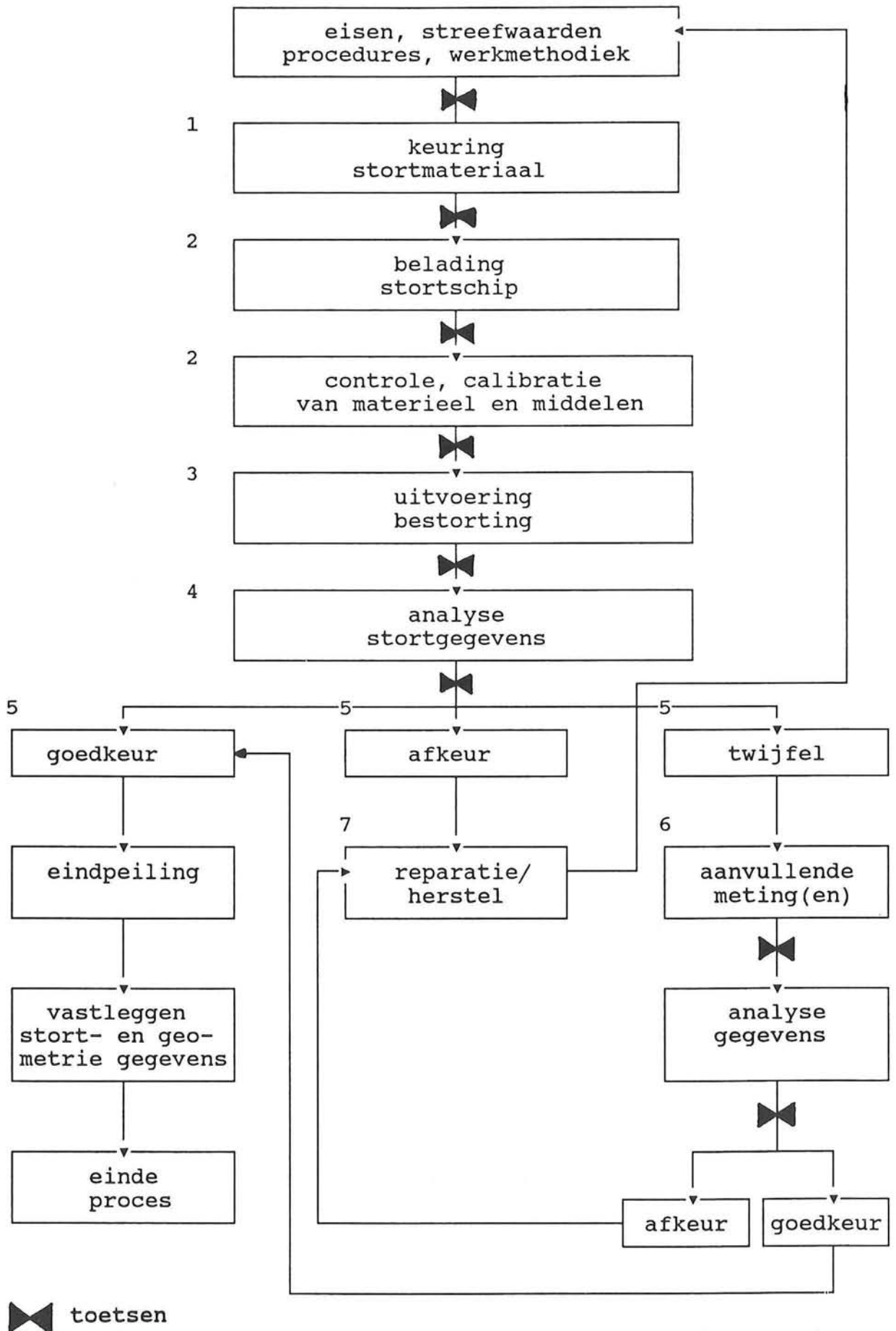
11.3.1 Q-flow Plan stortproces

In de hoofdstukken 6, 7 en 9 is een analyse gemaakt van de kwaliteitsbepalende factoren van het stortproces en in hoofdstuk 10 zijn de hieraan te stellen eisen gedefinieerd. Op basis hiervan moeten specificaties, streefwaarden, procedures en werkmethoden vastgelegd worden. Het meten van werkelijke waarden en resultaten moeten vergeleken worden met deze streefwaarden en indien nodig het procesverloop of het -resultaat afkeuren, de afwijking analyseren en de oorzaak corrigeren. Tevens moet een bestemming worden aangegeven voor de afgekeurde stortmaterialen. Belangrijk in dit geheel is, dat de waarnemingen en de aangebrachte correcties goed en overzichtelijk worden geregistreerd. In het navolgende wordt een zogenaamd Q-flow Plan (zie figuur 11.2) van het stortproces weergegeven. Hierin worden de primaire activiteiten van het stortproces benoemd en in volgorde en samenhang aaneengeschakeld en waar nodig voorzien van de uit te voeren toetsen.

11.3.2 Keuring stortmateriaal (blok 1)

11.3.2.1 Algemeen

Reeds in de ontwerpfase zal nagegaan moeten worden of de gekozen sorteringen volgens de gestelde materiaaleisen en hoeveelheid geproduceerd kunnen worden. Wanneer besloten wordt het materiaal aan te kopen, kan bij de producent het kwaliteitssysteem (indien aanwezig) beoordeeld worden, en kan bijvoorbeeld geëist worden, dat aan de hand van een proefleverantie aangetoond wordt of aan de gestelde eisen kan worden voldaan.



Figuur 11.2 Q-flow plan stortproces

Gedurende de levering moeten de materialen regelmatig worden gekeurd door middel van monsternamen. Deze monsters dienen selectief te worden genomen en moeten representatief zijn voor de te bechouwen hoeveelheid materiaal. Vooraf zal de grootte en het aantal monsters, per hoeveelheid geleverde materialen, vastgesteld dienen te worden.

De materialen moeten op basis van genormeerde of zelf vast te stellen keuringscriteria gecontroleerd worden.

Voor de keuring van breuksteen voor waterbouwkundige werken kan voor wat betreft de plaats, monsternamen, transport, identificatie van de monsters en de keuringscriteria verwezen worden naar de normen NEN-ISO 5180 t/m 5188. Voor de keuring van alternatieve materialen, zoals slakken en grind e.d. zijn (nog) geen vaste normen beschikbaar en daarom zullen voor deze materialen zelf keuringscriteria vastgesteld moeten worden.

Voor een aantal van deze alternatieve materialen kan Literatuur 3 als leidraad dienen. Voorts kan bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Hoofdafdeling Materialen, een deskundig advies worden ingewonnen voor het vaststellen van de hier bedoelde keuringscriteria.

Onderstaand wordt ten aanzien van de dichtheid, sterkte, massa- en korrelverdeling van het materiaal breuksteen, enkele kanttekeningen geplaatst, gezien in het licht van de keuring.

11.3.2.2. De dichtheid en sterkte van het materiaal

Deze eigenschappen kunnen het best aan de oorsprong worden gecontroleerd voordat met de productie wordt begonnen.

Controles op genoemde eigenschappen vergen veel tijd, zodat, wanneer bij aankomst van de materialen wordt gekeurd, dit stagnerend op de uitvoering zou kunnen werken. Bovendien wordt voorkomen dat ladingen die nog onderweg zijn eveneens afgekeurd zouden moeten worden.

11.3.2.3 De massa- en korrelverdeling van het materiaal

In principe is men alleen geïnteresseerd in de kwaliteit van het materiaal, wanneer zij in de constructie is aangebracht.

Het is echter ondoenlijk om bij alle materiaalsorteringen onder water een representatief monster te nemen. Omdat het materiaal tengevolge van verlading en transport aan verandering onderhevig zal zijn, wil men het liefst zo dicht mogelijk bij de verwerking een indruk krijgen van de materiaalkwaliteit.

Dit zou bereikt kunnen worden door een monster te nemen tijdens het laden van het stortschip. Daar het schip meestal direct na het laden gaat storten, en het uitwerken van monsters enige tijd vergt, kan zonder stagnaties niet voorkomen worden dat een lading van een slechte kwaliteit wordt gestort. Als deze situatie zich voor zou doen, is het belangrijk dat de plaats van storten geregistreerd wordt, zodat bekend is waar de constructie niet aan de gestelde eisen voldoet en maatregelen genomen kunnen worden. Als de hiervoor bedoelde keuring als stap één wordt gezien, kan bij een tweede stap het materiaal gekeurd worden bij aankomst op het werk. Het te keuren materiaal heeft dan een kwaliteit die voor de verwerking nog nadelig beïnvloed kan worden door transport, overslag en opslag van het materiaal.

Deze nadelige invloed kan onder controle worden gesteld door eisen te stellen aan de valhoogte bij op- en overslag van het materiaal en de opbouw van een eventueel depot tijdens de verdere handelingen.

Een nadeel van deze keuring is, dat vóór het lossen van bijvoorbeeld de scheepslading, een aselechte bemonstering niet mogelijk is, omdat de bemonstering beperkt blijft tot het oppervlakte van de lading. Tijdens het lossen is een aselechte monstername wel mogelijk, alleen bij het niet voldoen aan de eisen, drukken de kosten van lossen en weer laden op de afgekeurde en af te voeren lading.

De derde stap is het keuren bij de producent. Hier is een aselechte representatieve bemonstering tijdens de produktie goed uitvoerbaar. Echter na de keuring volgt nog transport en overslag met de bekende gevolgen van verfijning van het materiaal. Tot slot kan gesteld worden dat het keuren van het materiaal op het werk het voordeel heeft, dat het gehele keuringsproces opgenomen kan worden in de kwaliteitszorg op het werk, waarbij de communicatie optimaal is en voor wat betreft de verwerking direct gereageerd kan worden op eventuele geconstateerde tekortkomingen.

11.3.2.4 Keuringsprocedure

De keuringsprocedure kan als volgt zijn: na monstername worden analyses gemaakt door middel van zeven of wegen. In het algemeen wordt van één monster meerdere deelmonsters gemaakt. De uitkomsten worden statistisch bewerkt en getoetst aan de gestelde materiaaleisen. Hieruit volgt het wel of niet voldoen aan de eisen. Wanneer aan de eisen wordt voldaan kan het materiaal vrijgegeven worden voor verwerking. Bij het niet voldoen aan de eisen kan een eventuele herkeuring uitgevoerd worden waarbij de afgekeurde partij, gescheiden en duidelijk gemerkt, opgeslagen dient te worden, om zo snel mogelijk van het werk afgevoerd te kunnen worden.

Een eventuele herkeuring kan overwogen worden, wanneer getwijfeld wordt aan de representativiteit van de monsterneming voor wat betreft het criterium ontmenging. Dit kan zich met name voordoen bij breed gegradeerde sorteringen. Namelijk bij bemonstering op hellingen van kegelvormige hopen, kan de grofste fractie onderschat worden doordat dit materiaal vooral onder in de lading oververtegenwoordigd is, en de fijne fractie onderschat door overmatige aanwezigheid in de toppen van de hoop. Door de homogeniserende werking van overslag op het verschijnsel ontmenging, kan overwogen worden om het geheel opnieuw te bemonsteren voor een herkeuring.

In figuur 11.2 wordt bovenstaande procedure via een stroomschema weergegeven.

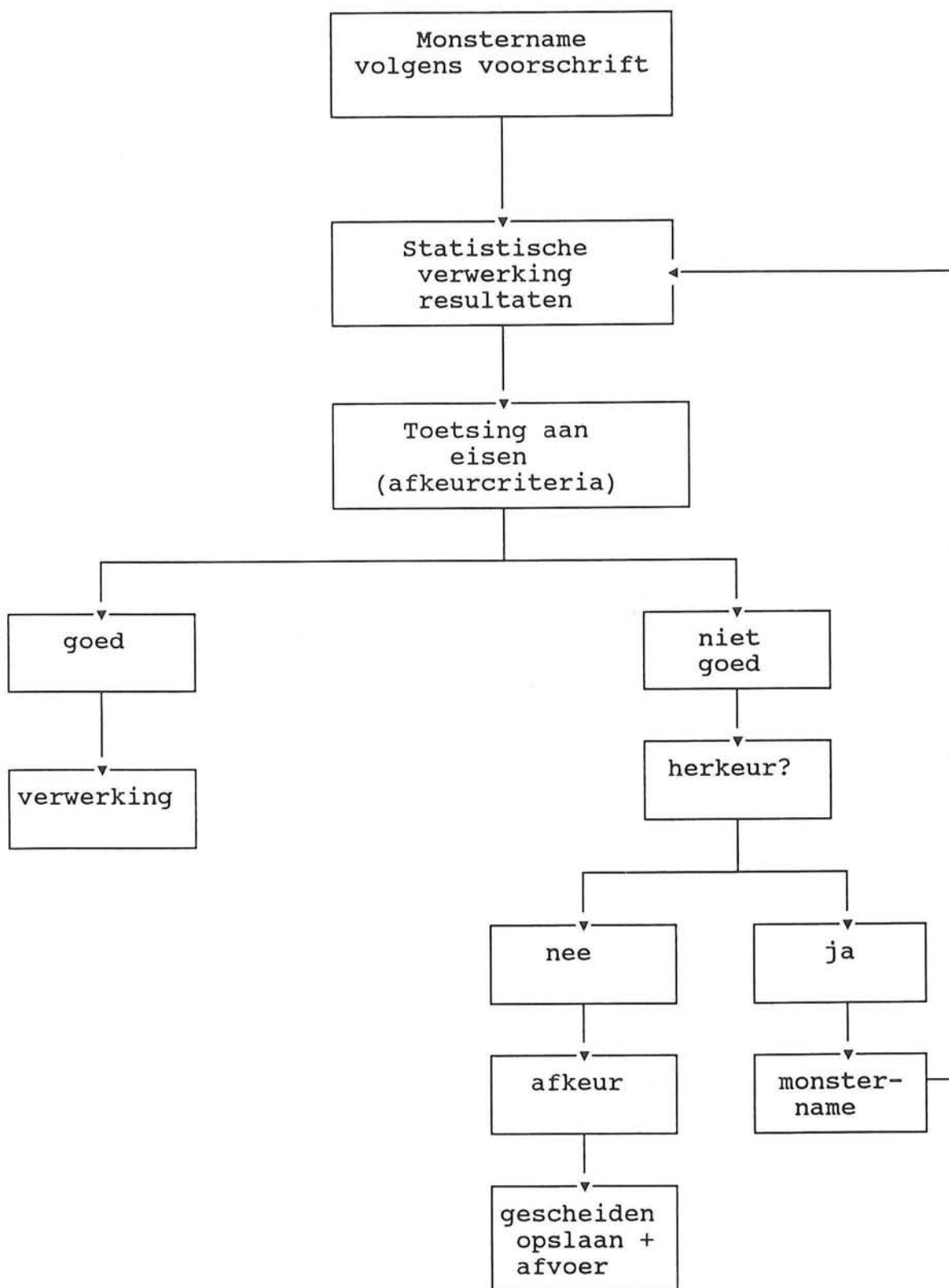


fig. 11.2 schema keuringsprocedure

11.3.3 Vorbereiding storten (blok 2)

Voordat met het storten wordt begonnen, moeten een aantal metingen en controles worden uitgevoerd volgens de in het uitvoerings- en keuringsplan vastgestelde normen (zie hoofdstuk 14). Deze metingen hebben betrekking op o.a. het stortvak, kenmerk van de lading, de beladingshoeveelheid, de bakengegevens t.b.v. survey, de calibratie van de plaatsbepalingsinstrumenten en van de meetapparatuur voor het meten van de stroomsnelheid en -richting.

Het stortschip moet eveneens op een aantal zaken geïnspecteerd en gecontroleerd worden. Deze hebben betrekking op de vereiste instelling van de schuifsnelheid of beunopening, alsmede op de te realiseren verhaalsnelheid. De belading wordt aan de hand van het beladingsplan gecontroleerd op de aard en hoeveelheid materiaal. Tevens dient een controle plaats te vinden op het beladingsprofiel, waaronder de lading aangebracht is op het laaddek of in het beun. Al deze bevindingen, controles en calibraties dienen schriftelijk vastgelegd te worden op een daarvoor op te stellen beoordelingsformulier.

11.3.4 Uitvoering bestorting (blok 3)

De uitvoering van de bestorting vindt eveneens plaats aan de hand van de hierboven genoemde plannen, normen en procedures. Gedurende het positioneren en het verhalend storten dient steeds gereageerd en gecorrigeerd te worden op de uit- en afwijkingen in de koers, en de verhaalsnelheid van het stortschip. Hiertoe is het belangrijk dat het stortschip uitgerust is met een radiografisch plaatsbepalingssysteem, met een daaraan gekoppeld registratiesysteem, waarmee de afgelegde weg en de positie van het stortschip on-line gepresenteerd kan worden. Voorts is het aan te bevelen het schip uit te rusten met stroommeetapparatuur, die eveneens gekoppeld kan worden aan het presentatie- en registratiesysteem. Deze gegevens, die essentieel zijn voor een efficiënte procesbeheersing, kunnen eveneens dienen voor controle en beoordeling van het stortresultaat achteraf.

Een dergelijke registratieplot levert de volgende gegevens op:

- * Werkgebied.
- * Stortvak.
- * Datum, aanvangs- en eindtijd stort.
- * Naam van het schip.
- * Stortnummer.
- * Laag identificatie.
- * Steensortering en diameter.
- * Schuifsnelheid.
- * Waterdiepte.
- * Beladingshoeveelheid.
- * Begin- en eindpositie.
- * Begin- en eindafstand uit as.
- * Postitie stortschip om bijv. de 10 seconden.
- * Oriëntatie schip t.o.v. het noorden.
- * Stroom- en afzetcorrectie in x- en y-richting
- * Verhaalschema met, theoretisch stortvak, gecorrigeerd stortvak voor stroom en afzet en aktueel stortvak.
- * Gegevens stroomsnelheid en -richting.

Naast deze geregistreerde gegevens dient er een visuele controle plaats te vinden op het bresgedrag van het stortmateriaal. Deze bevindingen en eventuele bijzonderheden die zich voordoen tijdens het stortproces, alsmede de calibratieconstanten van de verschillende meetinstrumenten en de coördinaten van het plaatsbepalingssysteem, dienen vastgelegd te worden op de daarvoor bestemde beoordelingsformulieren (zie de bijlagen 6,7 en 8).

11.3.5 Analyse stortgegevens (blok 4, 5 en 6)

Direct na het storten vindt een eindbeoordeling plaats van de stortgegevens. In gezamenlijk overleg tussen de uitvoering en survey worden de stortresultaten, de survey-informatie en het keuringsrapport van de gebruikte materialen, beoordeeld op de van toepassing zijnde eisen. Deze resultaten worden vastgelegd in een stortbeoordelingsformulier (zie bijlage 9) en wordt een stort goed- of afgekeurd. Bij twijfel over goed- of afkeur, dat zich bijvoorbeeld voor kan doen als gevolg van een storing, zodat een gedeelte van de registratie ontbreekt, kan besloten worden een aanvullende meting uit te laten voeren. Deze meting kan bestaan uit bijvoorbeeld een detailpeiling, een duikinspectie, een sonaropname of een combinatie van deze inspectiemiddelen.

Voor een beschrijving van deze inspectiemiddelen wordt verwezen naar hoofdstuk 12.

Een andere mogelijkheid is, om via het computermodel "Stortsim", de stort te simuleren. Hierbij moeten de ontbrekende procesgegevens als visueel waargenomen gegevens ingevoerd worden in het model, en kan op basis van de gevonden resultaten besloten worden om gericht onderzoek, met behulp van de hiervoor genoemde inspectiemiddelen, plaats te doen vinden.

Pas na beoordeling van deze aanvullende informatie volgt de eindconclusie aangaande goed- of afkeur.

11.3.6 Reparatie/herstel (blok 7)

Naast de bewaking dat handelingen plaatsvinden conform het beoogde proces (procesbeheersing), is het van belang dat zorg wordt gedragen voor maatregelen om op geordende wijze afwijkingen van het beoogde proces af te handelen.

Vindt er een procesonregelmatigheid plaats, dan kunnen er op twee niveaus acties ondernomen worden om de gewenste situatie te herstellen:

- Op het niveau van het produkt,
- Op het niveau van het proces.

Bij een correctieve maatregel van het produkt dient er zorg voor te worden gedragen, dat de reparatie op beheerste wijze tot stand komt.

Bij het zich regelmatig voordoen van één bepaalde procesafwijking, als gevolg van bijvoorbeeld een te strenge uitvoeringseis, dan moet in overleg tussen uitvoering en ontwerp nagegaan worden in hoeverre de procesuitvoering herzien kan worden.

Als uit de analyse van de stortgegevens blijkt, dat moeilijk of nauwelijks voldaan kan worden aan de gestelde ontwerpeisen, dan

zal eveneens in overleg tussen uitvoering en ontwerp nagegaan moeten worden in hoeverre het ontwerp gewijzigd dient te worden. Bij een herziening van het stortproces en of het ontwerp is er sprake van een preventieve actie.

11.3.7 Organisatie en motivatie

Er zijn in grote lijnen twee mogelijkheden om de kwaliteitsbeheersingsfunctie in een organisatie onder te brengen (lit. 12). In het eerste geval is er sprake van een afzonderlijke kwaliteitsorganisatie naast de productorganisatie.

Elk deelproces van de produktie wordt door een aparte kwaliteitsfunctie bewaakt. De andere wijze van organiseren is het onderbrengen van een deel van de kwaliteitsfunctie bij de produktieorganisatie. Elke produktiemedewerker meet en keurt zijn eigen werk. De eerste organisatievorm heeft als voordeel dat de soms tegengestelde belangen van kwaliteit en produktie organisatorisch gescheiden zijn. Tevens staan de meetgegevens direct ter beschikking voor analyse en bestudering. Hierbij dienen eventuele procesbijstellingen formeel via de leiding te worden aangebracht.

Bij het tweede type organisatie komen meetgegevens welliswaar later beschikbaar voor diepgaande analyse, maar een eerste procesbijstelling kan onmiddellijk plaatsvinden.

Voorals het uitvoerend personeel goedgeschoold is en een hoge kwaliteitsmotivatie heeft, kan dit type organisatie een succes betekenen. Ook is het mogelijk, dat gaande het werk, overgegaan wordt van bijv. het eerste naar het tweede model. Namelijk de begeleiding van de aanvang van speciale processen, zoals de start van een nieuwe werkmethode of de inzet van nieuw materieel, zal het best verlopen als de meetgegevens direct geanalyseerd en verwerkt worden. Als dit speciale proces na verloop van tijd is ingeregeld, verdient het de voorkeur over te gaan op het tweede model, waarbij de produktiemedewerkers zelf de verantwoordelijkheid dragen voor de meting en de eventuele bijstelling. Hierbij is het van belang dat de medewerkers goed worden voorgelicht over het ontwerp, de functies van de constructie en de gevolgen van het niet functioneren van de constructie enz. Voorts is het van belang dat er duidelijkheid bestaat over de verantwoordelijkheden en bevoegdheden van de medewerkers en dat er duidelijke keuringscriteria en maatregelen tot herstel worden gesteld.

11.4 De voordelen van kwaliteitsbeheersing

Op basis van de bij de Oosterscheldewerken opgedane ervaring met het toegepaste kwaliteitssysteem, kunnen de volgende voordelen genoemd worden:

Ten eerste stelt men met behulp van het kwaliteitssysteem vast in hoeverre tijdens de uitvoering wordt voldaan aan de ontwerpgedachten. De gepresenteerde totaal-aanpak opent de mogelijkheid om, indien de keuring van het eindprodukt moeilijk is, de controle-metingen te richten op het produktie-proces en de inputs. Als het procesverloop en de input in orde zijn moet het eindprodukt aan de eisen voldoen.

Ten tweede kan men, indien onverhoopt blijkt dat de ontwerp-specificatie van het eindprodukt niet wordt gehaald, op grond van de oorspronkelijke ontwerpoverwegingen en de overige metingen aan proces en inputs, nagaan of een zinvolle aanpassing in de ontwerp-eisen of uitvoeringsmethoden mogelijk is. Hierdoor worden ongecontroleerde improvisaties zoveel mogelijk voorkomen.

Ten derde vindt er via deze aanpak een leerproces plaats. De ontwerpvoorspellingen worden systematisch getoetst aan de realisatie. Dit heeft o.a. tot gevolg dat er voortdurend naar wordt gestreefd, om de middelen en het systeem te verbeteren.

Ten vierde kunnen moeilijk en vaak kostbare onderwater-metingen voorkomen of beperkt worden. De reparatiekosten die vaak voortkomen uit de onzekere voorspelling bij de eindproduktmeting (peilen) kunnen sterk worden verminderd.



Steenwinning in breuksteengroeve te Eurojoki.

HOOFDSTUK 12

INSPECTIEMIDDELEN

12.1 Inleiding

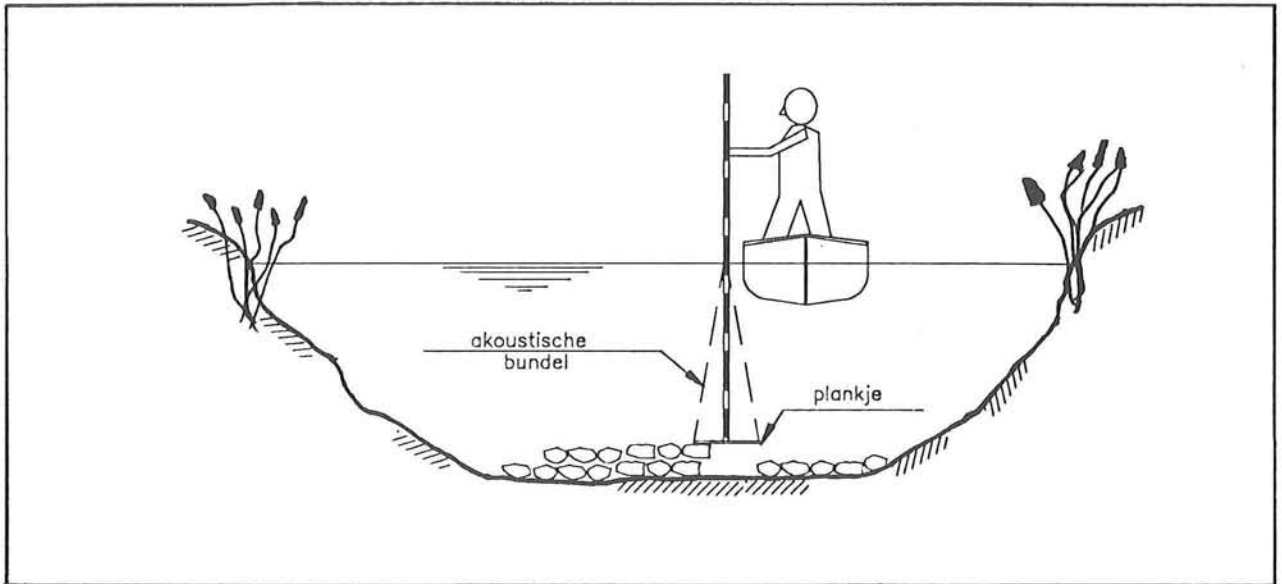
Het controleren van "dunne" bestortingslagen onder water wordt bemoeilijkt door de opname- en verwerkingsmethodiek van het meetmiddel. De kreet "meten is weten" gaat voor onderwatermetingen zeker niet op. Om reden hiervan wordt er naar gestreefd het stortproces zodanig te beheersen, dat controle achteraf beperkt kan blijven. Toch blijft het achteraf meten van de gerealiseerde bestorting noodzakelijk. Met name in de aanvangsperiode is de behoefte aanwezig om via lodingen, al of niet in combinatie met duikinspecties en sonaropnamen, de gekozen stortstrategie te beoordelen en te verifiëren op haar effectiviteit. De beoordeling van de hiervoor uit te voeren in- en uitpeiling, waarbij het verschil tussen de twee peilingen de laagdikte zou moeten zijn, kan zich slechts beperken tot een ja/nee detectie (wel of geen bestorting aanwezig). Namelijk, gezien de fouten en onnauwkeurigheden die er in beide peilslagen voor zullen komen, mag er niet al te veel waarde aan de absolute waarde van de gevonden laagdikte worden gehecht.

Een andere mogelijkheid tot verificatie van het stortresultaat is, het gebruik van het programma "Stortsim". Hierin dienen de procesparameters van een uitgevoerde stort als invoergegevens, en kan op basis van de resultaten, al of niet in combinatie met één van de hiervoor bedoelde inspectiemiddelen, de stortstrategie getoetst en eventueel bijgesteld worden.

Onderstaand wordt een korte beschrijving van de hier bedoelde inspectiemiddelen gegeven.

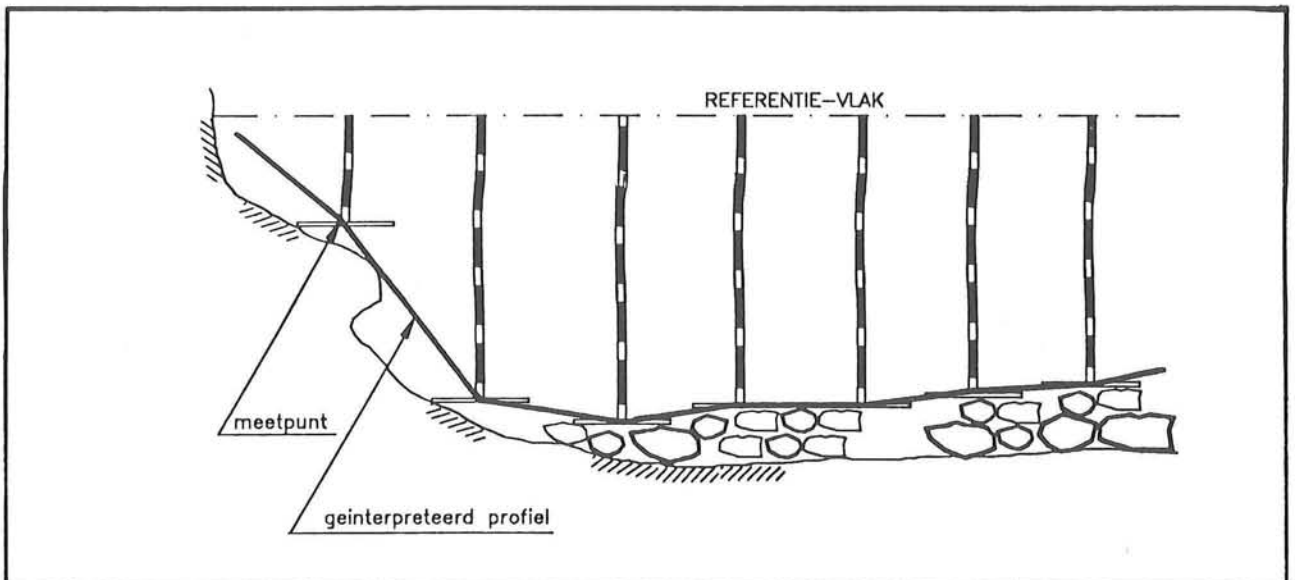
12.2 Dieptemeting

Het doel van peilen is om een beschrijving van de bodem te kunnen maken. Deze beschrijving houdt in zijn eenvoudigste vorm in, het weergeven van diepten ten opzichte van een bekend referentieniveau. Het bepalen van diepten gebeurt akoestisch, dus met behulp van geluidstrillingen, die vanaf een vaartuig worden uitgezonden en na terugkaatsing door de bodem weer worden opgevangen. Door de tijd te meten, die verloopt tussen het uitzenden en weer ontvangen van het signaal, kan de afstand van het schip (transducer) tot de bodem worden bepaald. Dit tijdsinterval wordt elektronisch omgezet in een continu diepteregistratie door het echolood dat een echogram, een bodemprofiel, produceert. Peilen met een akoestisch systeem is te vergelijken met het aftasten van de bodem met een polsstok, die voorzien is van een plankje tegen het wegzakken in de ondergrond. De grootte van het plankje komt dan overeen met de breedte van de akoestische bundel (zie figuur 12.1).



figuur 12.1 Principe van peilen

De informatie uit een dergelijke peiling vertoont grotere verschillen met de werkelijkheid naarmate de bodem ongelijker (talud, grove sortering) en het plankje (de bundel) groter is. Door deze manier van peilen vinden we toppen die breder en vlakker zijn, en gaten die smaller zijn dan in werkelijkheid. De smalste gaten vinden we niet eens meer, omdat het plankje er niet tussen past (zie figuur 12.2).



figuur 12.2 Peilresultaat

Per meetpunt (zie figuur 12.2) wordt zowel de plaats (x-y coördinaat) als de diepte (z-coördinaat) vastgelegd op de werkelijk gevaren raai, of geëvalueerd naar de theoretische verhaal-

lijn van de peilvlet. Bij het bepalen en noteren van de coördinaten (x,y,z) zijn vele fouten mogelijk. De hoofdoorzaken van deze fouten zijn:

- * een onjuiste interpretatie van de meetuitkomsten;
- * een foutieve bepaling van de instrumenthoogte t.o.v. het referentievlak (NAP-maat);
- * het onvoldoende rekening houden met de eigenschappen van het systeem zoals: instrumentfouten (1% van de waterdiepte), relatie tussen geluidssnelheid en water (afh. temperatuur, zoutgehalte e.d.), frequentiekeuze enz.;
- * fouten in de relatie tussen de positie van het peilschip (x,y-coördinaat) en de positie waar de diepte gemeten is, zoals:
 - plaatsbepalingsfouten; (nauwkeurigheid plaatsbepaling in relatie tot stuurgedrag van het peilschip)
 - fout in de plaats van de transducent; (antenne of reflector ten opzichte van de positie van de transducent, bij slingeren en stampen van het schip)
 - fouten t.g.v. de bundelbreedte van het echolood;
- * interpretatiefouten: fouten die gemaakt worden bij de verwerking van de meetgegevens tot een presentatie van de gegevens, zoals:
 - gelijkmatige afronding; horizontaal afgerond op meters (plaatsbepaling meetschip), de diepte (vertikaal) in decimeters,
 - het aantal peilgegevens;
 - controle tijdens de verwerking. Een operator voert controle uit op de gevaren baan en het opgenomen profiel m.b.v. een beeldscherm. In het oog lopende fouten worden geëlimineerd;

In de figuren 12.3 en 12.4 wordt voor zowel een "normaal" als een "geavanceerd" peilsysteem, een indruk gegeven van de invloed van beide systemen op de te bereiken meetnauwkeurigheid. Hierbij wordt onder "geavanceerd" verstaan; een systeem met een hoge plaatsbepalingsnauwkeurigheid, van orde grootte enkele decimeters (bijv. minilir/aga), een goed manoeuvreerbaar peilvaartuig en een 1 graads-transducer, bevestigd op een gestabiliseerd platform, zodat onder alle omstandigheden loodrecht wordt gemeten.

ad. A: **normaal peilsysteem onder goede en slechte weersomstandigheden**

a.1 Goede weersomstandigheden vlakke bodem: (zie fig. 12.3)

- nauwkeurigheid plaatsbepaling orde 2 meter (x,y).
- diepteregistratie 1% van de waterdiepte.
- afstand transducer-waterlijn geeft geen fouten (d).
- geen verschuiving tussen z en x,y.
- bij bijv. een bult in het bodemprofiel vindt verschuiving plaats van z naar x,y over een halve tophoek.

a.2 Idem a.1 onder golfomstandigheden: (zie fig. 12.3)

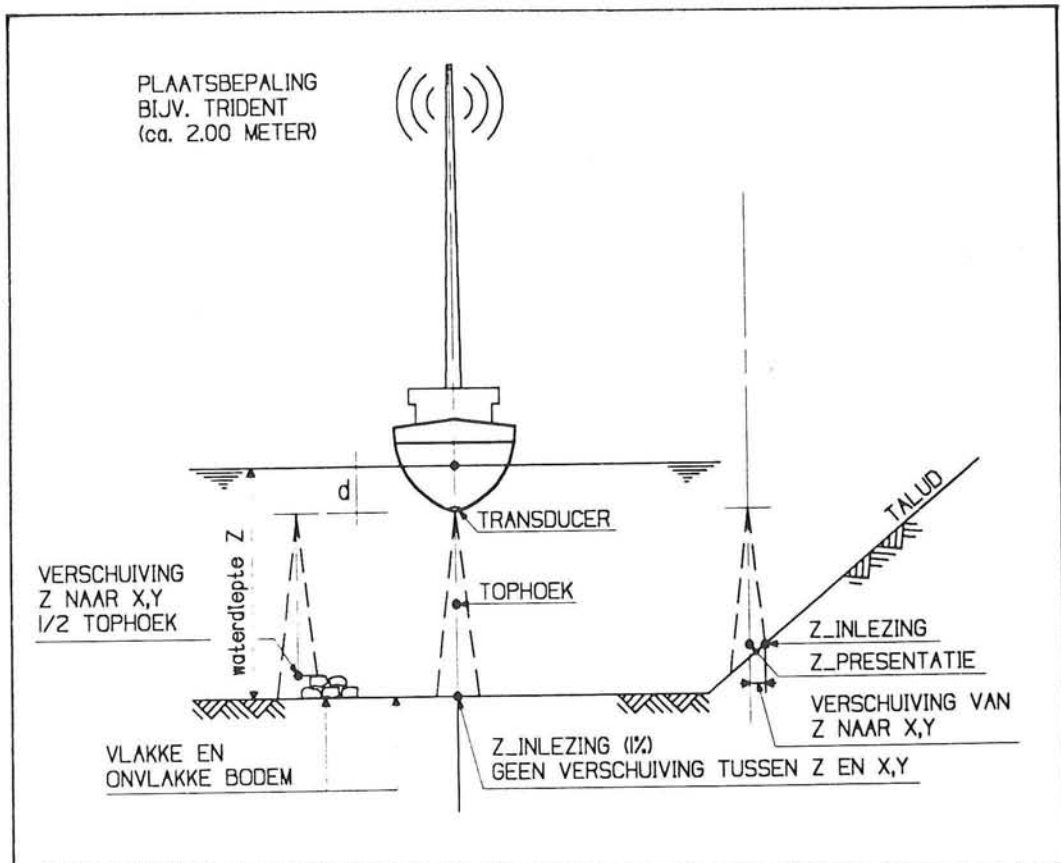
- nauwkeurigheid plaatsbepaling orde 2 meter (x,y) plus trim/slagzij plus een halve tophoek.
- diepteregistratie 1% van de waterdiepte plus halve tophoek plus trim/slagzij.
- verschuiving z-inlezing naar x,y z-presentatie.
- de afstand transducer-waterlijn kleiner dan wordt gebruikt (d var.).

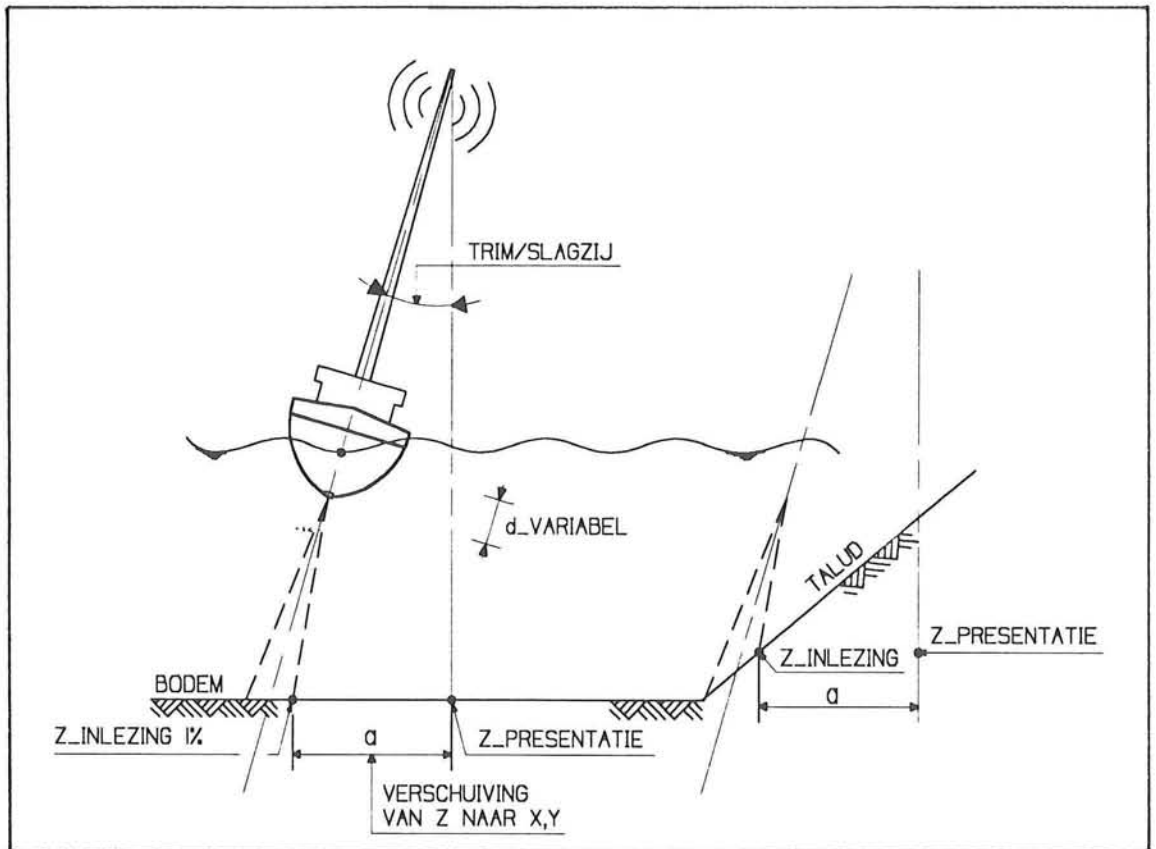
a.3 Goede weersomstandigheden hellende bodem (zie fig. 12.3)

- nauwkeurigheid plaatsbepaling orde 2 meter (x,y) plus halve tophoek.
- diepteregistratie 1 % van de waterdiepte plus taludhelling.
- afstand transducer-waterlijn geeft geen fouten (d).
- verschuiving van z (inlezing) naar x,y. (presentatie)

a.4 Idem a.3 onder golfomstandigheden: (zie fig. 12.3)

- nauwkeurigheid plaatsbepaling orde 2 meter (x,y) plus halve tophoek plus trim/slagzij.
- diepteregistratie 1 % van de waterdiepte plus trim/slagzij plus taludhelling.
- verschuiving z (inlezing) naar x,y (presentatie).
- afstand transducer-waterlijn is kleiner dan wordt gebruikt (d var.).



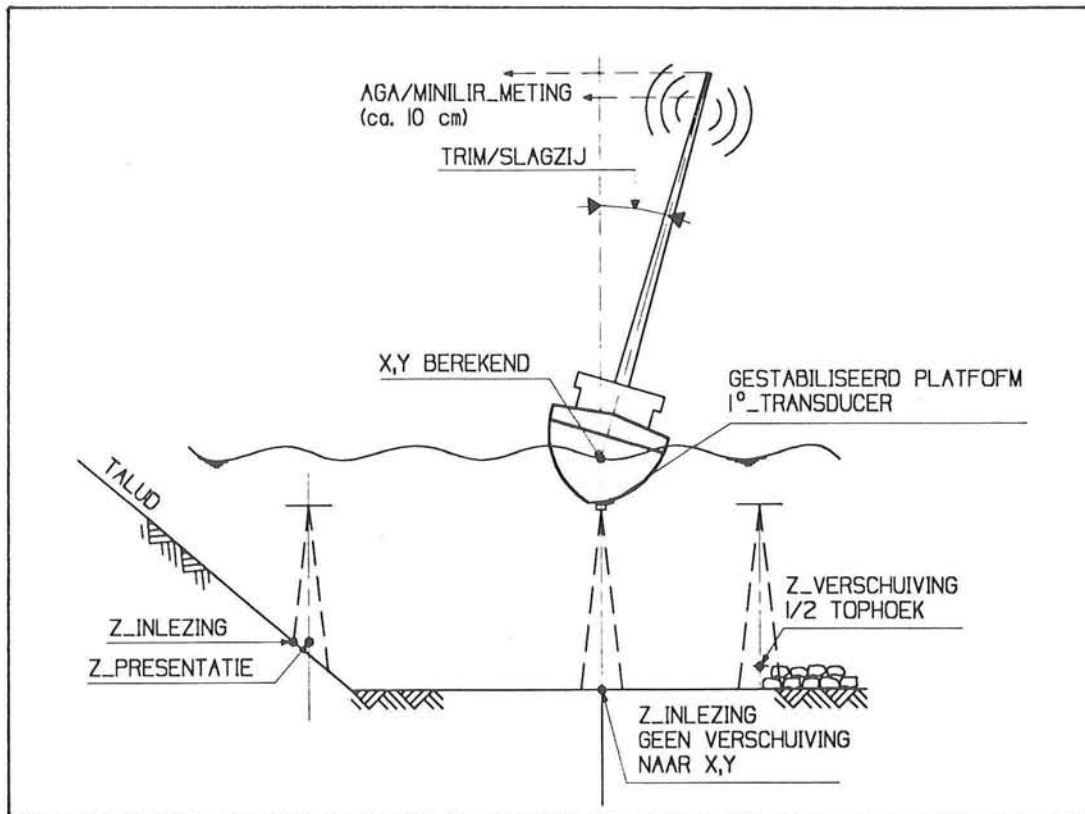


Figuur 12.3 invloeden op meetnauwkeurigheid "normaal" peilmiddel

Ad. B: "geavanceerd" peilsysteem onder goede en slechte weersomstandigheden, vlakke en hellende bodem (zie fig. 12.4)

- Nauwkeurigheid plaatsbepaling orde 10 centimeter (x,y). Deze wordt bereikt door meting van de afstand en de hoek met bijv. een Aga/Minilir vanaf een vast walpunt. De trim en de slagzij van het schip worden gemeten met hellingmeters. Met inachtneming van deze gegevens wordt de x- en y-positie van het scharnierpunt van het stabiliserende platform (transducer) berekend.
- Door het werken met een 1-graads transducer wordt op een diepte van 30 meter een cirkel met een straal van slechts 26 centimeter bekeken.
- Bij het peilen van een talud ontstaat een kleine verschuiving van de z naar x en y.
- Het peilen van grove steensorteringen (gaten, bulten), ondanks het gebruik van een "geavanceerd" systeem, levert ter indicatie nog steeds de volgende diepteonauwkeurigheden (z) op:

steensoort	vlakke bodem	hellende bodem 1:3
60/300 kg	ca. 20 cm	ca. 20-45 cm
300/1000 kg	ca. 40 cm	ca. 40-65 cm
1000/3000 kg	ca. 60 cm	ca. 60-85 cm



Figuur 12.4 Invloeden op meetnauwkeurigheid "geavanceerd" peilmiddel

12.3 Sonarmeting

Met behulp van side looking sonar (Sound Navigation and Ranging) kunnen opnamen van de bodem worden gemaakt door middel van verstrooiing van akoestische golven naar de bodem. De ontvangst van de reflecties wordt aan boord van een meetschip geregistreerd op lichtgevoelig recorderpapier.

Door dit principe kan varend een bodembeeld worden verkregen en is de interpretatie gebaseerd op patroonherkenning; d.w.z. het kunnen herkennen van afwijkende patronen. De sonaropname geeft het idee van een schaduwhoogte, hoe groter de onderlinge hoogteverschillen hoe meer schaduw. De werkwijze en meetresultaat van de zijdelingse sonarverkenning wordt weergegeven in figuur 12.5.

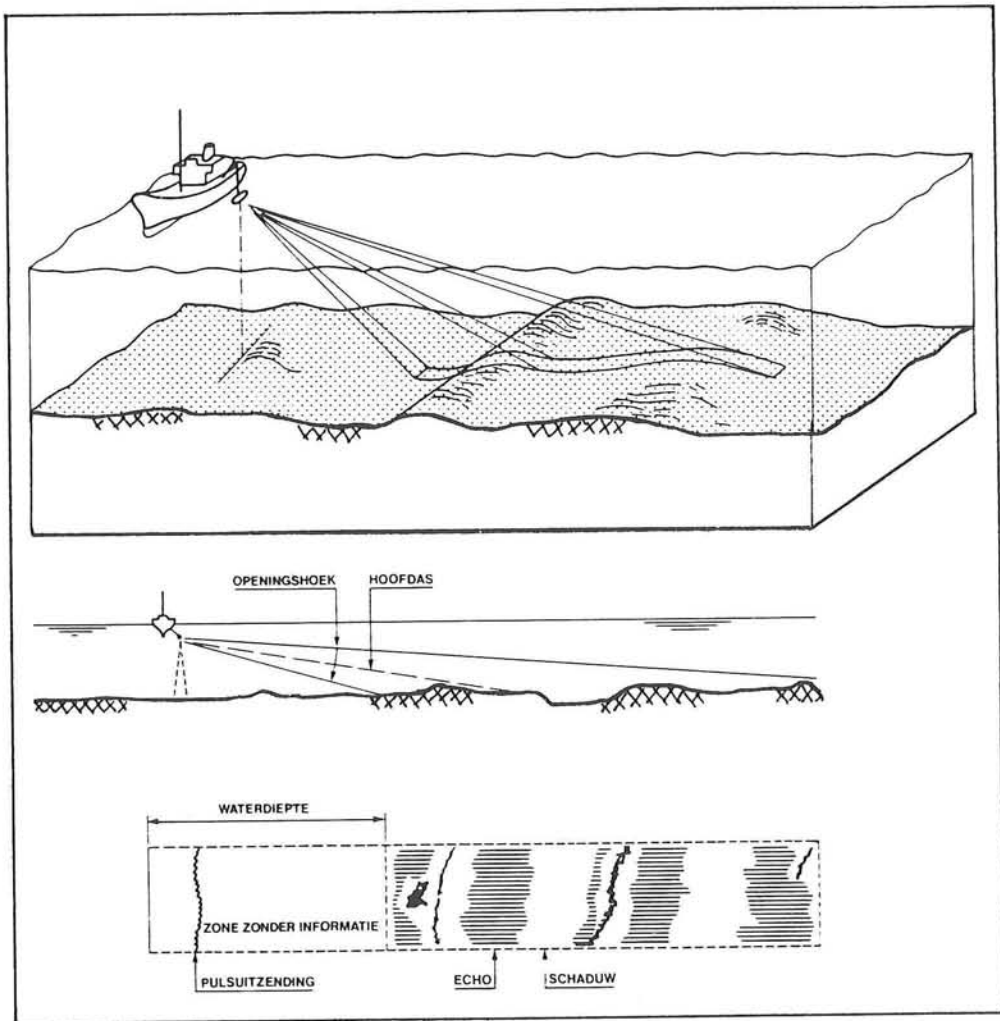


Fig. 12.5 Principe en meetresultaat zijdelingse sonarverkenning

Bij het maken van een sonaropname wordt de "sonarvis" voortgesleept door het water, hangend aan een vlet. In de "sonarvis" bevinden zich twee transducers, (zend- en ontvangsteenheid van akoestisch signalen) zodat gelijktijdig opnamen naar beide zijden gemaakt kunnen worden. Dit type inspectiemiddelen kan toegepast worden voor:

- controle op het aaneengesloten liggen van de bestorting.
- Gaten van relatief grote omvang kunnen gedetecteerd worden;
- de relatieve ligging van de randen van de bestortingsvelden;
- Detectie van sediment op reeds gestorte filterlagen;

Om deze hoedanigheid te kunnen detecteren is een duidelijk reliëf of structuurverschil van de materialen met de ondergrond nodig. In tabel 12.1 wordt voor een aantal materialen, de patroonherkenning weergegeven.

Ondergrond	Stortmateriaal	Waarneembaar
zand	slakken	Duidelijk structuurverschil in reflecties
zand	breuksteen	Duidelijk structuurverschil, hoe groter de breuksteenafmeting, hoe groter het verschil
slakken	breuksteen	Hoe groter de breuksteenafmeting des te groter verschil in reflecties
breuksteen	breuksteen	De grovere sortering geeft een duidelijke grovere reflectie
breuksteen	sediment	Duidelijk structuurverschil in reflecties

Tabel 12.1

De opnamen met de sonarvis zijn vrijwel onder alle weersomstandigheden mogelijk en dienen bij voorkeur uitgevoerd te worden bij stroomsnelheden van 1 meter en kleiner. Bij hogere snelheden kunnen turbulentiebanen de opnamen verstoren. In de meeste gevallen zal een sonaropname in combinatie met een ander inspectiemiddel, zoals duikinspectie en/of peiling, een completer beeld geven. In combinatie met het simulatiemodel "Stortsim" kan het een belangrijk hulpmiddel zijn voor een ja/nee detectie (wel of geen bestorting aanwezig).

12.4 Duikinspectie

Indien de analyse van het stortproces aanleiding geeft extra aanvullend onderzoek te doen, kan besloten worden het betreffende gebied te inspecteren met behulp van een duiker. Hiertoe dient het in aanmerking komend gebied vastgelegd te worden in coördinaten. Het vaartuig waar vanaf gedoken wordt, wordt gepositioneerd en deze positiegegevens worden vastgelegd. De bijzonderheden waar de duiker op moet inspecteren worden vooraf doorgesproken en de bevindingen van het te inspecteren gebied, alsmede de communicatie tussen de duiker en de begeleider, worden via camerabeelden en op geluidsband vastgelegd. Bij een dergelijke inspectie wordt het afdaalgewicht van de duiker tot circa een 0,5 à 1 meter boven de bodem gehouden. Aan dit gewicht bevindt zich een zwemlijn met een lengte van ca. 10 meter. Terwijl het vaartuig langzaam varend het te inspecteren gebied aangeeft, zwemt de duiker zigzaggend over het te inspecteren gebied. Bij een geconstateerde schade of onregelmatigheid wordt het vaartuig recht boven de duiker gepositioneerd, zodat de plaats van de schade globaal in coördinaten vastgelegd kan worden (plaatsnauwkeurigheid ca. 5 à 10 meter). Na beëindiging van de inspectie wordt aan de hand van de positioneergegevens, de video-opnamen en de geluidsband, alle bijzonderheden vastgelegd in het daarvoor bestemde inspectierapport.

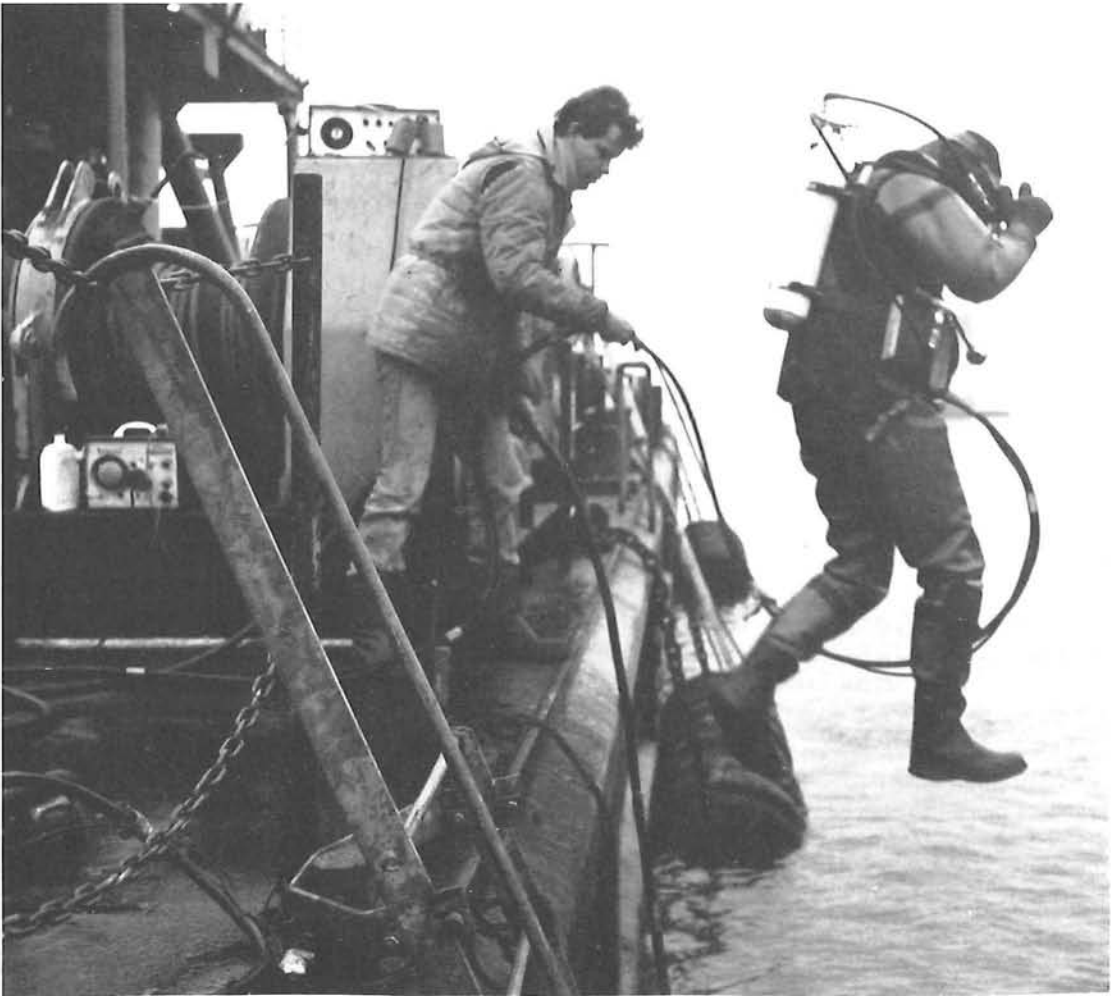
12.5 Simulatiemodel "Stortsim"

Bij de beoordeling van de stortprocesgegevens kan bij twijfel (zie hfdstuk 11.3.5) over de gerealiseerde kwaliteit van het eindprodukt, het mathematisch model "Stortsim" een belangrijk hulpmiddel zijn.

Om een uitgevoerd stort met behulp van dit model te kunnen simuleren, moeten de volgende procesgegevens bekend zijn:

- De positie van het stortpunt in de tijd; (verhaalplot).
- Het bresgedrag als functie van de tijd; (door visuele waarneming vast te leggen op procesbeoordelingsformulier)
- De bodemgeometrie; (loding ondergrond)
- De materiaalgegevens; (sortering stortmateriaal en karakteristieke diameter)
- De materieelgegevens; (schuifsnelheid, deklengte enz.)
- De omgevingscondities; (stroomsnelheid en stroomrichting, waaronder is gestort, alsmede de toegepaste correcties).

Op basis van de gevonden simulatieresultaten, al of niet in combinatie met aanvullende inspecties, kan een uitgevoerd stort beoordeeld worden.



Duiker gaat te water voor inspectie bodemverdediging.

HOOFDSTUK 13

KWALITEITSPLAN

13.1 Inleiding

Het doel van een kwaliteitsplan is; de zekerheid te krijgen dat de geëiste kwaliteit van bijzondere produkten of processen gehaald wordt. Hiertoe dient men een zodanige voorbereiding te treffen, en tijdens de uitvoering die extra activiteiten uit te voeren, dat gewaarborgd wordt dat de activiteiten in één keer goed uitgevoerd worden.

Het belang van een kwaliteitsplan, als onderdeel van het totale kwaliteitssysteem, wordt steeds groter, omdat de overheid en grote organisaties, zoals oliemaatschappijen e.d., steeds meer design/construct-opdrachten verlenen aan aannemingsmaatschappijen, en zodoende kwaliteitsborging gaan eisen. Hiertoe zal de opdrachtnemer over een op schrift gesteld kwaliteitssysteem moeten beschikken om aan te kunnen tonen en te bewerkstelligen dat zijn produkt aan de gestelde eisen zal voldoen.

De beheersingsactiviteiten van het stortproces, zoals in hoofdstuk 11 zijn beschreven, zouden als bijzonder proces in een (deel)kwaliteitsplan vastgelegd kunnen worden.

13.2 Bijzonder proces

Het stortproces is een proces waarvan de uitkomst niet volledig te verifiëren is door een keuring of beproeving van het eindprodukt. Procesgebreken of onvolkomenheden openbaren zich pas bij het in gebruik nemen van de constructie. Dientengevolge is voor een dergelijk proces een voortdurende bewaking en vaststelling vereist, dat voldaan wordt aan de hiervoor schriftelijk vastgelegde procedures, instructies en keuringen, om zo te bewerkstelligen dat aan de gestelde eisen kan worden voldaan. Van dit bijzondere proces moet aangetoond worden dat ze geschikt is voor het doel en dat ze voldoet aan de in het kwaliteitsplan omschreven voorwaarden.

13.3 Inhoud (deel)kwaliteitsplan

Het deelkwaliteitsplan gaat uit van een uitgewerkt detailontwerp waarin de relevante gegevens uit de ontwerp- en uitvoeringsnota zijn verwerkt. Afgezien van een inleiding e.d worden onderstaand de gewenste elementen van een kwaliteitsplan weergegeven:

- * Toepassingsgebied deelkwaliteitsplan, in dit geval het uitvoeren van bestortingen;
- * Een omschrijving van het te realiseren eindprodukt;
- * De te bereiken kwaliteitsdoelstellingen;
- * Een globale omschrijving van het totaal pakket aan werkzaamheden, met verwijzing naar het op te stellen uitvoerings- en keuringsplan; (zie hoofdstuk 14).
- * Een overzicht van de gestelde eisen met bijbehorende marges uit de ontwerp- en uitvoeringsnota;
- * De eventueel benodigde vergunningen;
- * De van toepassing zijnde normen en voorschriften, bijv. de

- normen NEN-ISO 5180 t/m 5188 voor breuksteen;
- * Een organisatieschema met de specifieke toewijzing van verantwoordelijkheden en bevoegdheden van de sleutelfiguren; (zie hoofdstuk 11.3.7)
 - * Een Q-flow plan (zie hoofdstuk 11.3.1) met daarbij de aanduiding van werkvoorschriften, instructies en de relevante metingen;
 - * Een beschrijving van procedures die de wijze van het toepassen van corrigerende maatregelen beschrijft;
 - * Veiligheids- en milieuaspecten;
 - * Een globale planning van alle activiteiten.

HOOFDSTUK 14

UITVOERINGS- EN KEURINGSPLAN

14.1 Inleiding

Wanneer in de werkvoorbereidingsfase (uitvoeringsnota) de stortmethodiek en -strategie eenmaal zijn vastgesteld (zie hoofdstuk 9) moet de werkwijze, de inzet van materieel, het gebruik van materiaal en de te plegen keuringen en metingen, vastgelegd worden in een uitvoerings- en keuringsplan.

Het uitvoerings- en keuringsplan bevatten een nadere invulling van het deelkwaliteitsplan met betrekking tot de logistieke zaken, zoals inzet van mensen en materieel, en de specifieke werkinstructies en keuringen die moeten worden toegepast. In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op de inhoudelijke aspecten van bedoelde plannen.

14.2 Inhoud uitvoeringsplan

Het uitvoeringsplan geeft stapsgewijs de opeenvolgende handelingen aan voor het uitvoeren van de bestorting, voorzien van het in te zetten materieel en het te verwerken materiaal. Het uitvoeringsplan moet minstens omvatten:

- * Aanduiding onderdeel met situatietekening en stortvakindeling; (zie als voorbeeld bijlage 10)
- * De eisen vanuit het detailontwerp (zie hoofdstuk 4.6) en de specifieke uitvoeringseisen; (zie hoofdstuk 10)
- * De te volgen werkmethode (stortmethode) met de opeenvolgende handelingen, zoals o.a het beladen, de uit te voeren calibraties, het storten enz.;
- * Het in te zetten materieel met de specifieke eigenschappen, zoals schuifsnelheid, verhaalsnelheid, manoeuvreergedrag enz.;
- * Een beschrijving of verwijzing naar de van toepassing zijnde technische procedures en werkinstructies, zoals het aantal uit te voeren verhaalslagen, de beschikbare storttijd (storttijd), het omgaan met de begin- en eindonregelmatigheid van het bresgedrag, de te hanteren positioneercorrecties enz.;
- * Het in te zetten materieel voor stroommeting en plaatsbepaling. De kenmerkende eigenschappen en de ijking- en calibratieprocedures dienen gedetailleerd weergegeven te worden in het meetplan, dat hier niet nader wordt beschouwd;
- * De afstemming met andere activiteiten;
- * Een gedetailleerde uitvoeringsplanning.

14.3 Inhoud keuringsplan

Het keuringsplan dient de uit te voeren keuringen, de methode van keuren, de keuringseisen, de frekwentie van keuren en de registratie en rapportage te vermelden.

Het keuringsplan dient minimaal te bevatten:

- * Aanduiding van het onderdeel, plaats van keuring e.d.;
- * Lijst van kenmerken die moeten worden gekeurd of van procesverbalen, waarop toezicht moet worden gehouden; (zie o.a Q-flow plan hoofdstuk 11.3.1)
- * De methode van keuren en frekwentie;
- * Een eenduidige beschrijving van de af- en goedkeurcriteria;
- * De vereiste vakbekwaamheid;
- * De vereiste keurings- en inspectiemiddelen, inclusief de status;
- * De omstandigheden waaronder de keuringen moeten worden uitgevoerd;
- * De methode van het merken van goedgekeurde produkten;
- * De te registreren gegevens en de verspreiding ervan;
- * De te gebruiken beoordelings- en keuringsformulieren.

Gezien de directe relatie met het uitvoeringsplan kan het keuringsplan in combinatie worden opgesteld met het uitvoeringsplan.

HOOFDSTUK 15

KWALITEITSKOSTEN

15.1 Inleiding

Na de uiteenzetting van het totaal aan procedures en keuringen, het vastleggen van deze gegevens in de bijbehorende plannen, alsmede de invoering hiervan in de organisatie, rijst automatisch de vraag; wat is de kostenverhogende werking van een dergelijke aanpak.

De ervaring leert dat het invoeren en in stand houden van een kwaliteitssysteem geld kost, maar dat het gemis aan kwaliteit zeer snel een groot verlies kan betekenen. De invloed van kwaliteit op de winst- en verliesrekening kan zeer groot zijn, zo is het bekend dat een Nederlands bouwbedrijf telkens na oplevering van een werk terug moest komen om herstelwerkzaamheden uit te voeren. Deze kosten bedroegen circa 15 a 20 % van de totale jaaromzet (Lit 12). De doelstelling van een kwaliteitskostensysteem moet daarom altijd zijn; het vaststellen van de effectiviteit van het kwaliteitsprogramma, het vaststellen van de behoefte aan kwaliteitsverbetering en het helpen bij de selectie van de meest doelmatige projecten of processen voor kostenvermindering. In onderhavig hoofdstuk wordt voor de uitvoering van bestortingswerkzaamheden nader ingegaan op de indeling, de filosofie en de optimalisatie van kwaliteitskosten. Als laatste wordt een praktijkvoorbeeld uitgewerkt van de kwaliteitskosten, zoals ervaren bij het aanbrengen van bestortingen t.b.v de bodemverdediging stormvloedkering Oosterschelde.

15.2 Indeling van kwaliteitskosten

In de literatuur over kwaliteit vormen de kosten steeds een onderdeel van het totaal. De doelmatigheid van een kwaliteitsbeleid kan onder meer vastgesteld worden door een analyse van de samenstelling van de "kwaliteitskosten", waarbij de volgende indeling kan worden gehanteerd:

- a. **Preventiekosten:** Kosten van kwaliteitsbeheersing, gemaakt om de kans op kwaliteitsvermindering te verkleinen. Hieronder kan gerekend worden, kosten voor investering in materieel, materiaal, apparatuur en deskundigheid.
- b. **Beoordelingskosten:** Kosten van testen, keuren en meten van produkten en processen om de kwaliteitsafwijkingen te onderscheppen voordat ze de afnemer bereiken.
- c. **Fouten- of faalkosten:** Kosten die gemaakt worden voor afkeuring of reparatie van het nog niet opgeleverde produkt. Herstelkosten van reparatie of vervanging van het geleverde produkt in de onderhoudstermijn.

Het zal duidelijk zijn dat er sprake is van een ondoelmatig kwaliteitsbeleid als de faal-foutenkosten het grootste aandeel hebben. Vaak is het mogelijk om in zo'n situatie de kwaliteitskosten te verlagen door tijd en geld aan preventie te besteden, of met andere woorden; het opzetten van een goede kwaliteitszorg. Deze gedachte kan geïllustreerd worden met het kwaliteitskostenmodel (Mulder, 1981) zoals in figuur 15.1 is weergegeven.

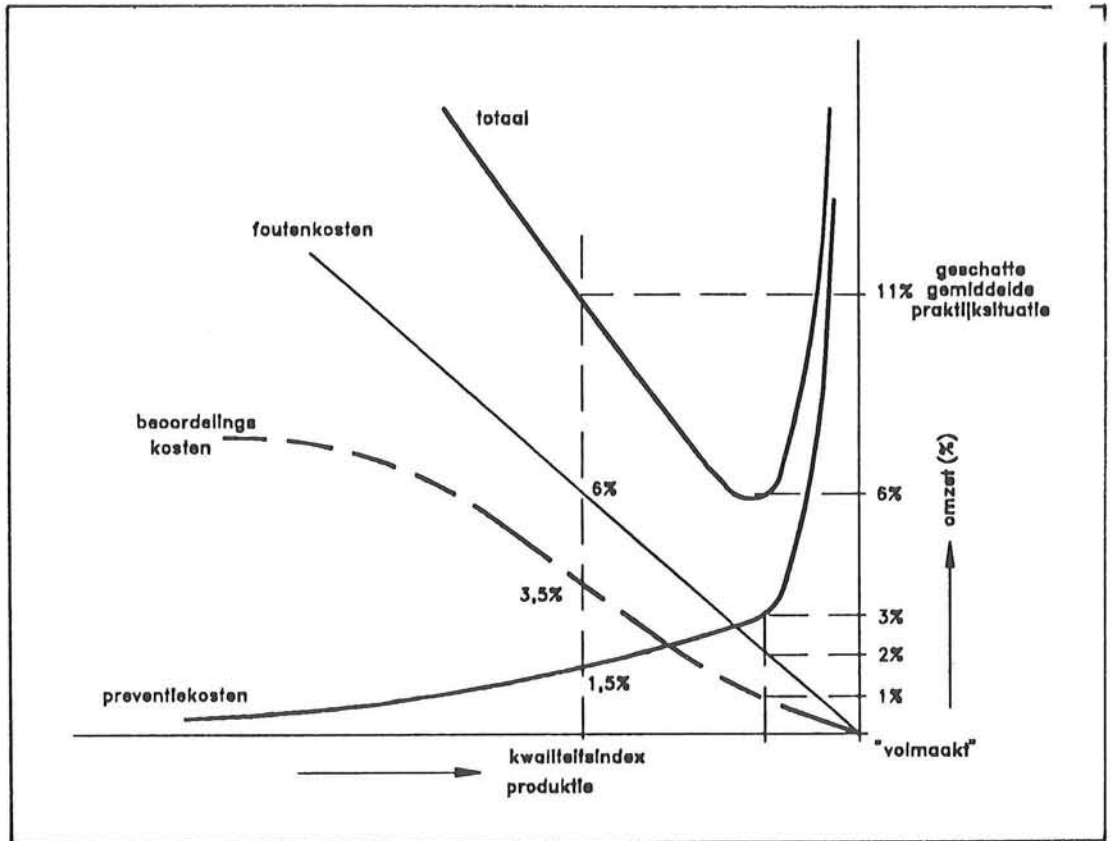


fig. 15.1 Het kwaliteitskostenmodel

In deze figuur zijn verticaal de drie meetbare categorieën van kwaliteitskosten in procenten van de omzet aangegeven. Op de horizontale as is een indicator voor kwaliteit van de produktie uitgezet. Aan de rechterzijde is het ideaal bereikt, de kwaliteit is volmaakt. In de figuur is een gemiddelde praktijksituatie weergegeven, waarin de kwaliteitskosten ongeveer 11% van de omzet bedragen. De foutenkosten nemen het grootste deel (6%) in beslag, gevolgd door beoordelingskosten (3,5%) en preventiekosten (1,5%).

Een verhoging van de intensiteit van preventieve maatregelen leidt volgens de figuur tot een verlaging van de totale kwaliteitskosten met vrijwel de helft.

Het hier geschetste beeld komt naarvoren als een gemiddelde uit de vele onderzoeken, die op dit gebied in de V.S., Engeland en Duitsland, zijn gedaan.

15.3 Kwaliteitskostenbenadering

Om te bereiken dat het te maken werk voldoet aan de gestelde eisen zijn meerdere kostenbenaderingen mogelijk. In het volgende worden enkele mogelijkheden beschouwd:

1. Achteraf controleren en repareren;

Controle achteraf bij dunne bestortingslagen betekent in hoofdzaak het meten van de laagdikte van de aangebrachte bestorting. De meetmethoden, in de vorm van een verschilpeiling (in- en uitpeiling), zijn hiervoor niet nauwkeurig genoeg of bieden althans onvoldoende zekerheid, zodat deze meting ondersteund dient te worden door bijvoorbeeld sonar- en duikinspecties. Om via dergelijke metingen van het eindprodukt verzekerd te zijn dat de minimaal vereiste laagdikte aanwezig is, wordt in de praktijk een overdosis aan materiaal gestort. Deze benadering leidt tot hoge preventie- en beoordelingskosten, en de praktijk leert dat dit, vanwege de onzekere interpretatie van de meetuitkomsten, vaak gepaard gaat met veel reparaties en dus relatief hoge foutenkosten.

2. Een tweede mogelijkheid is het voorkomen dat er fouten (reparaties) gemaakt worden. Hiervoor zijn twee benaderingen mogelijk:

- Het werken met een hoog toeslagpercentage op de laagdikte van de bestorting. Dit houdt in dat er geïnvesteerd moet worden in de bestortingsmaterialen, dus hoge preventiekosten. Hier tegenover staan echter lage beoordelings- en foutenkosten.
- Het inzetten van geavanceerd materieel, waardoor een goede procesmeting en procescontrole mogelijk wordt. Deze benadering gaat eveneens gepaard met hoge preventiekosten en lage beoordelings- en foutenkosten. Bij een dergelijke benadering kan in het algemeen het meten beperkt blijven tot de uitpeiling voor oplevering- en beheersdoeleinden.

3. Optimum tussen 1 en 2:

Uit de bovenstaande benaderingen kan het optimum van de minimale kosten worden gezocht door het handhaven van een beperkte foutkans, en ervoor te zorgen dat deze enkele fouten die gemaakt worden, zijn te traceren om vervolgens te kunnen repareren.

15.4 Kostenoptimalisatie

Uitgaande van een optimaal ontwerp, qua het voldoen aan de functionele eisen tegen zo laag mogelijke kosten, zal de ontwerper zich moeten afvragen welke onzekerheden er bij de realisatie van het ontwerp zullen voorkomen en welke toeslagen op het ontwerp gehanteerd moeten worden. Deze toeslagen kunnen voortvloeien uit:

- a. De materiaaleigenschappen;
- b. De laagdikte in relatie tot de uitvoeringsmethode;

ad a.

Materialen;

Bij de materialen moet de ontwerper ervan uitgaan dat een zekere mate van verfijning van de sortering op zal treden (zie hoofdstuk 4.7.3). Deze verfijning is afhankelijk van de sterkte van het materiaal en de wijze waarop het materiaal behandeld wordt. De keuze van de toe te passen materialen, met de kosten bepalende factoren, wordt in onderstaand schema weergegeven;

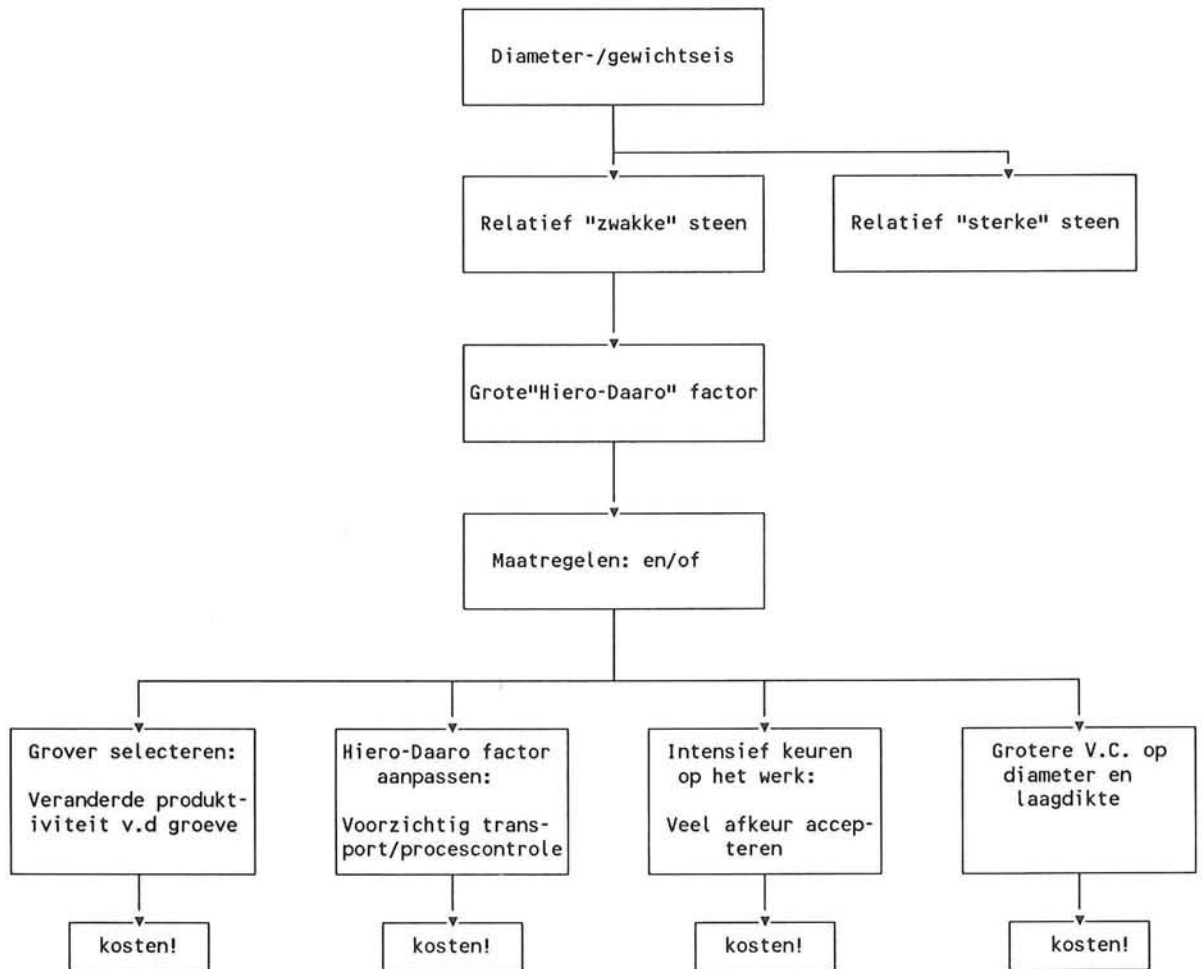


fig. 15.2 schema kosten-bepalende-factoren van stortmateriaal

Afhankelijk van de mate waarin het produkt en het opslag-over-slag- en transportproces wordt beheerst, zijn één, meerdere of alle van bovenstaande maatregelen nodig om de kwaliteit van het gemaakte werk te kunnen garanderen. Met andere woorden "zwakke" steen moet goedkoper zijn dan sterke steen om het gebruik ervan aantrekkelijk te maken.

ad. b.

Laagdikte:

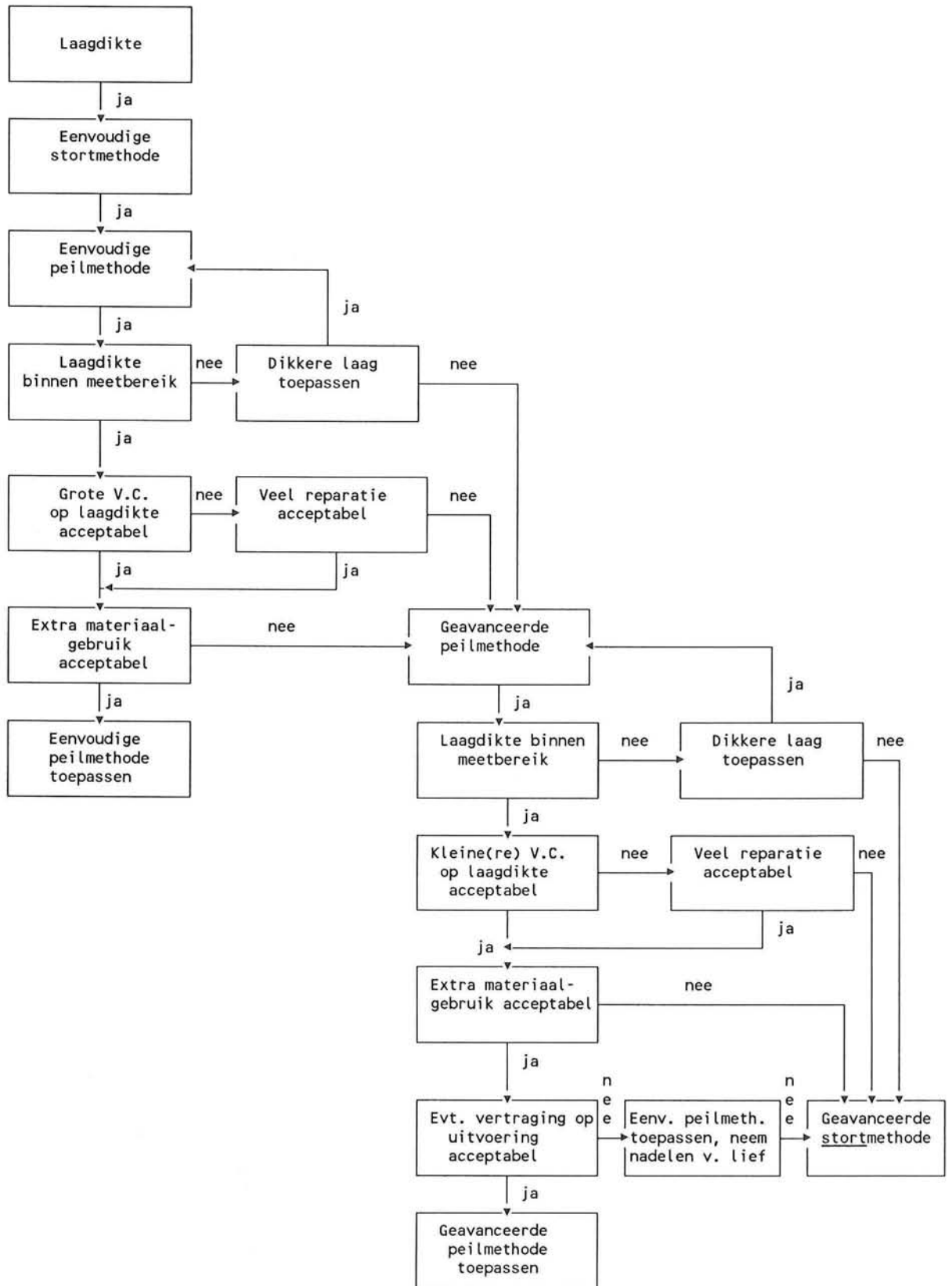
Om een optimale laagdikte te kunnen bepalen, kan eveneens een dergelijk stroomschema opgesteld worden. Hierbij gaat het in hoofdzaak om de keus, die gemaakt kan worden, tussen toepassing van eenvoudige of gea-

vanceerde meet- en uitvoeringsmiddelen. Voor het begrip "geavanceerd" meetmiddel wordt verwezen naar hoofdstuk 12, terwijl onder een "geavanceerd" stortmiddel wordt verstaan; een zijstorter uitgerust met o.a. een regelbare schuifsnelheid, een stuurautomaat, een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem en de voorzieningen om de relevante kwaliteitsparameters on-line te kunnen presenteren en registreren.

Bij werken van een relatief kleine omvang, zullen wellicht de kosten van meer materiaalverbruik (grotere laagdikte) opwegen tegen de kosten van duur materieel, inclusief de procesmeting. In figuur 15.3 wordt een stroomschema weergegeven van een "laagdikte"-boom.



Het peilen van een zojuist aangebrachte bodemverdediging.



Figuur 15.3 "Laagdikte"-boom

15.5 Voorbeeld kwaliteitskosten Stormvloedkering Oosterschelde

15.5.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt een voorbeeld uitgewerkt van de kwaliteitskosten van het aanbrengen van fosforslakken in een bodemverdedigingsconstructie, enerzijds uitgevoerd met een splijtbak en anderzijds met een geavanceerde zijstorter. Bij het gebruik van de splijtbak heeft de kwaliteitscontrole plaats gevonden op basis van een eindcontrolemeting (peilen, duiken e.d), terwijl dit bij het gebruik van de zijstorter is gebeurd door middel van een procesbewaking en -meting. Voor beide uitvoeringsmethoden is de kostprijs per vierkante meter aangebrachte fosforslakken vergeleken, waarbij opgemerkt moet worden dat de gehanteerde eenheidsprijzen specifiek betrekking hebben op het Oosterscheldeproject en dus niet algemeen van toepassing zijn voor andere werken.

15.5.2 Specifieke verschillen tussen beide uitvoeringsmethoden

In de onderstaande tabel worden de belangrijkste verschillen aangegeven die betrekking hebben op het stortmateriaal, de stortmethode de gestorte hoeveelheid materiaal, de uitgevoerde inspecties en de hoeveelheid stortmateriaal die benodigd is geweest voor reparaties. Deze gegevens zijn ontleend aan de evaluatienota bouwfasebestortingen Stormvloedkering Oosterschelde (Lit. 14).

Stortmiddel	Splijtbak in combinatie met positioneer/verhaalponton	zijstorter (schuifstorter)
Aspect		
1. Plaatsbepalingssysteem	Sextant in combinatie met walraaien	Artemis in combinatie met Gyrokompas en Inclinator
2. Nauwkeurigheid plaatsbepalingssysteem (2 sigma-waarde)	1 à 2 m/km	0,50 m/km
3. Laadvermogen	800 ton	2000 ton
4. Positioneren en verhalen	D.m.v. op ankerdraden bevestigde afmeerpositioneer- en verhaalponton	Zelfvarend in combinatie met stuurautomaat (D.P.-systeem), gekoppeld aan plaatsbepalingssysteem
5. Uitgevoerde procescontrole	Visuele waarneming van uitvoerder/opzichter, die vastgelegd werden in een procesbeoordelingsformulier.	Uitgebreide procescontrole, waarbij de plaatsbepalingssensoren werden ingelezen door een HP 9920 computer en on-line werden gepresenteerd. De relevante gegevens werden op harde schijf opgeslagen voor de kwal. controle op de wal. De bijzonderheden van bressen e.d. werden visueel waargenomen en weergegeven via het procesbeoordelingsformulier.
6. Inspectiemiddelen	Standaard het uitvoeren van een detailpeiling en sonaropname per stortveld. Bij twijfel over de interpretatie van deze gegevens werd duikinspectie uitgevoerd.	Op basis van de procesbeoordelingsresultaten gericht duikonderzoek.

7. Begin- en eindopname t.b.v. uitvoering en overdracht beheerder	In- en uitpeiling	In- en uitpeiling
8. Theoretisch benodigde ontwerphoeveelheid	500 kg/m ²	500 kg/m ²
9. Praktische storthoeveelheid op basis van ervaring en stortstrategie	1000 kg/m ²	825 kg/m ²
10. Aantal uitgevoerde storten, totaal gestorte hoeveelheid materiaal en totaal bestorte m ²	225 180.000 ton 180.000 m ²	72 142.000 ton 172.000 m ²
11. Aantal uitgevoerde duikinspecties op basis van peilresultaat en procesbeoordeling.	29	9
12. Aantal duikinspecties die aanleiding gaven tot reparatiestorten	11	1
13. Hoeveelheid stortmateriaal voor reparatie	9000 ton	1000 ton

15.5.3 Kostenvergelijking splijtbak en zijstorter

Op basis van de in hoofdstuk 15.5.2 genoemde specifieke verschillen, wordt in de volgende tabel een overzicht gegeven van de kosten van beide uitvoeringsmethoden.

Stortmiddel Kosten van de verschillende onderdelen	Splijtbak	Schuifstorter
1. Aankoop, vervoer en lossen in nat depot van fosforlakken	f 11,70/ton	f 11,70/ton
2. Laden en verwerken	f 7,75/ton	f 11,00/ton
3. Duikonderzoek (f 4000,= per duikonderzoek)	f 0,65/ton	f 0,25/ton
4. Peilen, sonar + verwerking gegevens (f 600,= per uur)	f 0,50/ton (inpeiling) f 1,30/ton (detailpeiling)	f 1,00/ton (in- en uitpeiling)
5. Reparatie voortkomend uit duikonderzoek	f 1,02/ton	f 0,16/ton
6. Kwaliteitsbeoordeling (f 100,= per uur)	2 personen 19 weken f 8000,=/week f 1,15/ton	4 personen 6 weken f 16.000,=/week f 1,45/ton
Totaal kosten/ton	f 24,07	f 25,56

Totaal kosten/m ²	1 ton/m ² x f 24,07=	0,825 ton/m ² x f 25,56 =
Bestortingconstructie	f 24,07/m ²	f 21,087

Uit het kostenvergelijk, zoals hiervoor is aangegeven, blijkt dat de kostprijs van een ton fosforslakken, aangebracht met een schuifstorter, ca 6 % hoger ligt dan die bij toepassing van een splijtbak.

Om echter aan de gestelde minimum laagdikte te kunnen voldoen, moest voor dit project bij het werken met een splijtbak 1000kg/m², en bij de schuifstorter 825 kg/m² stortmateriaal gestort worden. Dit houdt in dat de kostprijs per m² bestor-tingsconstructie, uitgevoerd met een splijtbak, ca. 14 % hoger lag dan de prijs die hoort bij de zijstorter. Omgerekend naar het bestorte oppervlak, levert dit een voordeel op van ca. een half miljoen gulden.

De praktisch te storten hoeveelheid materiaal, die benodigd is om te kunnen voldoen aan de vereiste minimum laagdikte, wordt hoofdzakelijk bepaald op basis van praktijkervaring.

Het simulatiemodel "Stortsim" kan, voor het vaststellen van een optimaal ontwerp van de praktische laagdikte, een belangrijk hulpmiddel zijn. In hoofdstuk 16 wordt dit geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld.

HOOFDSTUK 16

CASE, VERGELIJKING STORTMETHODEN MET "STORTSIM"

16.1 Inleiding

Zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 8.1, kan het computermodel "STORTSIM" voor zowel voorspellende als controlerende doeleinden worden gebruikt.

In de hier bedoelde case worden de uit hoofdstuk 9 aanbevolen stortmethoden met elkaar vergeleken.

Deze voorspellende toepassing van "STORTSIM" zou in de praktijk plaats kunnen vinden in de werkvoorbereidingsfase. Namelijk in deze fase zal op basis van economische en praktische overwegingen een keus gemaakt moeten worden volgens welke stortmethodiek en stortstrategie de bestortingswerkzaamheden uitgevoerd gaan worden.

In de hier beschouwde case worden de stortmethoden "halfsteensverband" en "dakpansgewijs" storten met elkaar vergeleken op de onderschrijdingskans van de laagdikte als functie van de praktisch te storten hoeveelheid stortmateriaal. Hierbij is de aandacht gericht op de gerealiseerde laagdikte ter plaatse van de aansluiting in langsrichting van de onderlinge stortvelden (zie figuur 16.1).

Om de onderlinge vergelijking van beide stortmethoden mogelijk te kunnen maken, is voor beide stortmethoden zoveel mogelijk een zelfde stortstrategie toegepast. Opgemerkt dient te worden dat in de praktijk de uiteindelijke keus tussen beide stortmethoden pas gemaakt zal worden, nadat een gevoeligheidsanalyse heeft plaatsgevonden naar de invloed van de verschillende stortparameters op het uiteindelijke stortresultaat.

Deze analyse, die uitgevoerd kan worden met "STORTSIM", levert de meest optimale stortstrategie op, waarmee de bestorting volgens een bepaalde stortmethode uitgevoerd kan worden.

16.2 Specificaties en uitgangspunten uitgevoerde simulaties

16.2.1 Stortvelden

Voor een beschrijving van de stortmethoden "dakpan- en halfsteensverband" wordt verwezen naar hoofdstuk 9.4.

In figuur 16.1 wordt voor beide stortmethoden een dwarsdoorsnede gegeven van de onderlinge ligging van de stortvelden met daarop aangegeven de bestortingsstrook, die voor het onderlinge vergelijk is beschouwd. In figuur 16.2 worden de afmetingen in bovenaanzicht gegeven waarop het onderlinge vergelijk is gebaseerd.

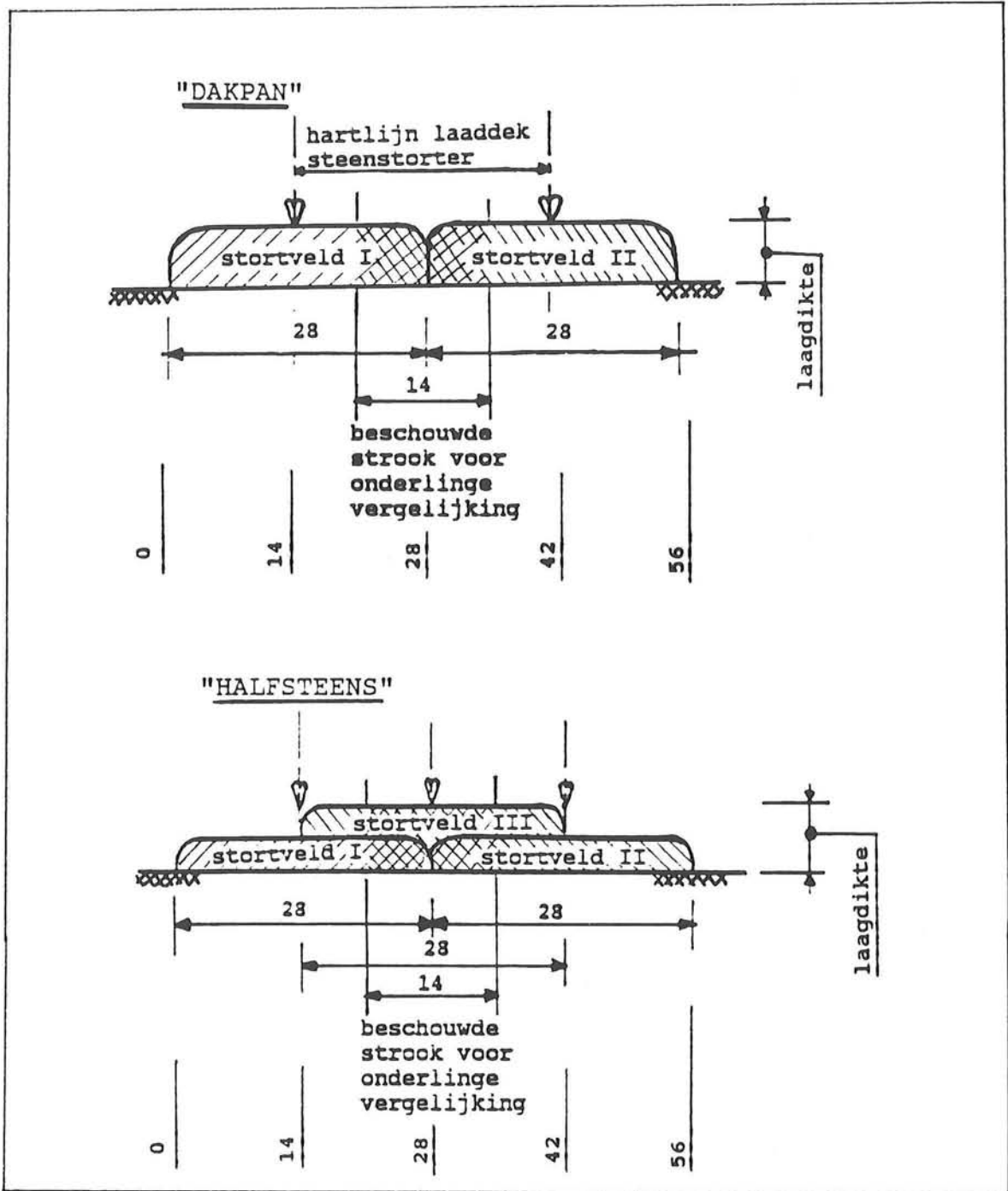


fig. 16.1 dwarsdoorsnede opbouw stortvelden

In tabel 16.1 en 16.2 worden voor de beide gesimuleerde stortmethoden de specificaties van de stortvelden weergegeven.

Stortmethode/uitgevoerde simulaties	"DAKPAN"							
	SIMULATIE							
	A		B		C		D	
	stortveld		stortveld		stortveld		stortveld	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Bijzonderheden								
Begin- en eindpositie stortveld (m)	0-165	0-165	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100
Randen stortveld (m)	0-28	28-56	0-28	28-56	0-28	28-56	0-28	28-56
Hartlijn laaddek stortschip (m)	14	42	14	42	14	42	14	42
Gestorte hoeveelheid materiaal (ton)	1100	1100	1100	1100	1466	1466	1960	1960
Gestorte hoeveelheid materiaal per m ² (kg)	240	240	390	390	525	525	700	700
Gestorte hoeveelheid materiaal omgerekend naar een laagdikte (m)	0,15	0,15	0,24	0,24	0,33	0,33	0,44	0,44

tabel 16.1 specificaties uitgevoerde simulaties volgens de "DAKPAN" stortmethode

stortmethode/uitgevoerde simulaties	"HALFSTEENS"								
	"SIMULATIE"								
	A			B			C		
	stortveld			stortveld			stortveld		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Bijzonderheden									
Begin- en eindpositie stortveld (m)	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100
Randen stortveld (m)	0-28	14-42	28-56	0-28	14-42	28-56	0-28	14-42	28-56
Hartlijn laaddek stortschip (m)	14	28	42	14	28	42	14	28	42
Gestorte hoeveelheid (ton)	550	550	550	733	733	733	980	980	980
Gestorte hoeveelheid materiaal m ² (kg)	200	200	200	260	260	260	350	350	350
Gestorte hoeveelheid materiaal omgerekend naar een laagdikte (m)	0,125	0,125	0,125	0,165	0,165	0,165	0,22	0,22	0,22
Gestorte hoeveelheid materiaal ter plaatse van aansluiting stortvelden (ton)	400	400	400	520	520	520	700	700	700
Gestorte hoeveelheid materiaal t.p.v. aansluiting omgerekend naar een laagdikte (m)	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,44	0,44	0,44

tabel 16.2 specificaties stortvelden volgens de stortmethode "halfsteenverband"

16.2.2 Stortmateriaal

Voor de beide stortmethoden met de uitgevoerde simulaties is breuksteen 10-60 kg met de volgende kenmerken toegepast:

-	Hoek van natuurlijk talud	:	40 graden
-	Spreiding hoek natuurlijk talud	:	0 graden
-	Dichtheid van de steen	:	2900 kg/m ³
-	Porositeit	:	0,40 -
-	Aanname D50	:	0,22 m
-	Stortcoëfficiënt (C)	:	0,68 -

16.2.3 Omgeving

Voor de simulaties zijn de volgende omgevingscondities gehanteerd:

-	Waterdiepte	:	20 m
-	Dichtheid water	:	1025 kg/m ³
-	Stroomsnelheid	:	0 m/s
-	Stroomrichting t.o.v. x-as	:	0 graden

16.2.4 Stortschip

Voor beide stortmethoden, met bijbehorende simulaties, zijn de volgende kenmerken en eigenschappen gehanteerd:

-	Scheepstype	:	zijstorter (-)
-	Laaddek lengte	:	28 (m)
-	Laaddekbreedte	:	
	* DAKPAN A, B EN C	:	
	HALFSTEENS A EN B	:	6,50 (m)
	* overige simulaties	:	8,50 (m)
-	Schuifhoogte	:	
	* DAKPAN A EN B	:	
	HALFSTEENS A	:	2,40 (m)
	* overige simulaties	:	3,20 (m)
-	Scheepsbreedte	:	
	* DAKPAN A, B EN C	:	
	HALFSTEENS A EN B	:	15,50 (m)
	* overige simulaties	:	18,50 (m)
-	Manoeuvrerbaarheid	:	± 1.50 m t.o.v. de theoretische verhaallijn

16.2.5 Stortstrategie

Voor de uitgevoerde simulaties is de volgende stortstrategie gekozen:

- Aantal stortgangen:
 - * voor alle dakpan-simulaties twee verhaalslagen per stortveld
 - * voor alle halfsteens-simulaties een verhaalslag per stortveld.
 Het resultaat hiervan is, dat ter plaatse van de te beschouwen aansluiting (overlap) van de onderlinge stortvelden, minstens twee verhaalslagen zijn uitgevoerd.
- Bij alle simulaties is ééNZijdig gestort.
- Begin- en eindonregelmatigheid bresgedrag:

Voor de beginonregelmatigheid is voor alle simulaties een instelafstand van minimaal 10 meter aangehouden. Voor de beoordeling van beide methoden speelt de eindonregelmatigheid van het bresgedrag geen rol.
- Spreiding van materiaal:

Voor alle simulaties is een zijdelingse spreiding van 8,50 m aangehouden. Voor de kopse spreiding is voor beide zijden 2 meter aangehouden (dus totale kopse spreiding 4 meter).
- Correctie plaatsbepaling t.g.v. stroom en afzet:

Gezien de stroomcondities en het feit dat de afzetgrootte niet belangrijk is voor de onderlinge beoordeling van beide stortresultaten, is geen plaatscorrectie van het stortschip toegepast.
- Manoeuvreergedrag stortschip:

Zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 16.2.4 is een maximale uitwijking van 1,50 meter t.o.v. de ideale verhaallijn gehanteerd. Per stortgang is een willekeurig vetergang (verhaallijn) van het stortschip aangehouden.
- Verhaalsnelheid stortschip en schuifsnelheid:
 - * Voor de verhaalsnelheid van het stortschip is voor alle simulaties eenzelfde snelheid van 0,20 m/s aangehouden.
 - * Voor de simulatie DAKPAN A is een schuifsnelheid van 0,0079 m/s ingesteld. Voor de simulaties DAKPAN B, C en HALFSTEENS A en B een schuifsnelheid van 0,0137 m/s en voor de overige simulaties een schuifsnelheid van 0,0179 m/s.
 Uit het bovenstaande volgt een totale storttijd voor DAKPAN A van 825 seconden en voor de overige simulaties een storttijd van 475 seconden.
- Overlap:

Voor de beide stortmethoden zijn de onderlinge stortvelden koud tegen elkaar gestort. Met andere woorden: de langs-overlap wordt gerealiseerd door de natuurlijke kopse spreiding van het stortmateriaal.

16.3 Resultaat uitgevoerde simulaties

In tabel 16.3 worden de stortresultaten van de gesimuleerde storten, uitgevoerd met "STORTSIM" volgens de hiervoor beschreven specificaties en uitgangspunten, weergegeven. Per simulatie wordt aan de hand van de normstort, (praktische hoeveelheid stortmateriaal) de onderschrijdingskans van de gerealiseerde laagdikte weergegeven. De hier weergegeven stortresultaten gelden voor het beschouwde gebied, zoals in breedte en lengte aangegeven is in respectievelijk de figuren 16.1 en 16.2.

Uitgevoerde simulatie	Normstort/ laagdikte in kg/m ² en meter	Onderschrijdingskans v/d laagdikte in %							max. gem. waarde en spreiding in m.		
		1	5	10	50	90	95	99	max	gem	sigma
DAKPAN A	240 0,15	0,03	0,06	0,08	0,15	0,24	0,26	0,31	0,40	0,16	0,004
DAKPAN B	390 0,24	0,14	0,18	0,19	0,28	0,38	0,41	0,46	0,53	0,29	0,005
DAKPAN C	525 0,33	0,15	0,23	0,26	0,37	0,48	0,51	0,56	0,64	0,37	0,007
DAKPAN D	700 0,44	0,32	0,35	0,36	0,48	0,61	0,64	0,70	0,86	0,51	0,009
HALF-STEENS A	400 0,25	0,13	0,16	0,18	0,28	0,37	0,40	0,46	0,53	0,28	0,006
HALF-STEENS B	520 0,33	0,14	0,20	0,26	0,37	0,49	0,52	0,58	0,67	0,38	0,09
HALF-STEENS C	700 0,44	0,31	0,36	0,38	0,49	0,63	0,66	0,73	0,83	0,50	0,09

Tabel 16.3 onderschrijdingskansen laagdikten uitgevoerde stortsimulaties

Met de in de tabel 16.3 genoemde onderschrijdingskans van bijvoorbeeld 5% voor simulatie DAKPAN D, wordt bedoeld dat bij een praktische storthoeveelheid van 700 kg/m² (theoretisch een laagdikte van 0,44 m), 95% van het beschouwde stortgebied afgestort is met een laagdikte die gelijk of groter is dan 0,35 m). Dus 5% van het bestorte gebied heeft een laagdikte die kleiner is dan 0,35 m.

De stortresultaten, zoals weergegeven in tabel 16.3, kunnen met "STORTSIM", per uitgevoerde simulatie en voor elke willekeurige laagdikte, visueel gepresenteerd worden.

In figuur 16.3 wordt dit geïllustreerd door een voorbeeld van het stortresultaat van de stortsimulaties, "DAKPAN D" en "HALF-STEENS C". Hierin stellen de plussen het gebied voor met een gerealiseerde laagdikte van 2D50 (0,44 m) of meer, terwijl de witte vlekken het gebied aangeven met een laagdikte kleiner dan 2D50 en groter of gelijk aan 1D50 (0,22m).

In percentages van het beschouwde stortgebied kan het stortresultaat van beide stortmethoden, voor een praktische hoeveelheid van 700 kg/m², als volgt worden weergegeven (zie figuur 16.2).

stortmethode	gerealiseerde laagdikte in percentages van het beschouwde gebied (1050m ²)		
	laagdikte ≥ 2D50 (0,44m)	laagdikte ≥ 1,5D50 (0,33m)	laagdikte ≥ 1D50 (0,22m)
DAKPAN D	88%	98%	100%
HALFSTEENS C	72%	98%	100%

Tabel 16.4 Stortresultaat "DAKPAN" D en "HALFSTEENS" C

16.4 Conclusie

Uit het stortresultaat van de beschouwde stortmethoden, aangebracht volgens de in hoofdstuk 16.2.5 gehanteerde stortstrategie, blijkt dat de efficiency van beide stortmethoden nagenoeg gelijk is. Voor een vereiste laagdikte van de hier beschouwde breuksteensortering 10-60 kg van bijvoorbeeld 1,50 D50 (0,33m), kan voor beide stortmethoden volstaan worden met een praktische storthoeveelheid van ca. 750 kg/m².

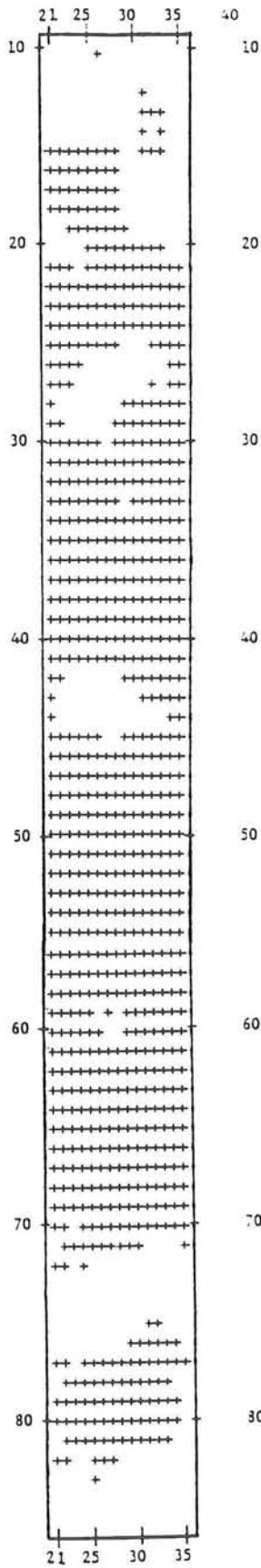
Uit de stortresultaten, zoals weergegeven in de tabellen 16.3 en 16.4 en in figuur 16.2, blijkt dat, om aan de in het voorbeeld gestelde dikte-eis van 0,33m te kunnen voldoen, respectievelijk 88 en 72% van het beschouwde stortgebied een laagdikte heeft van 0,44m of meer.

Uit de verdeling van de aangebrachte laagdikte volgens figuur 16.2 blijkt dat, met name tijdens het begin- en eindtraject van het stortschip, minder materiaal is gestort.

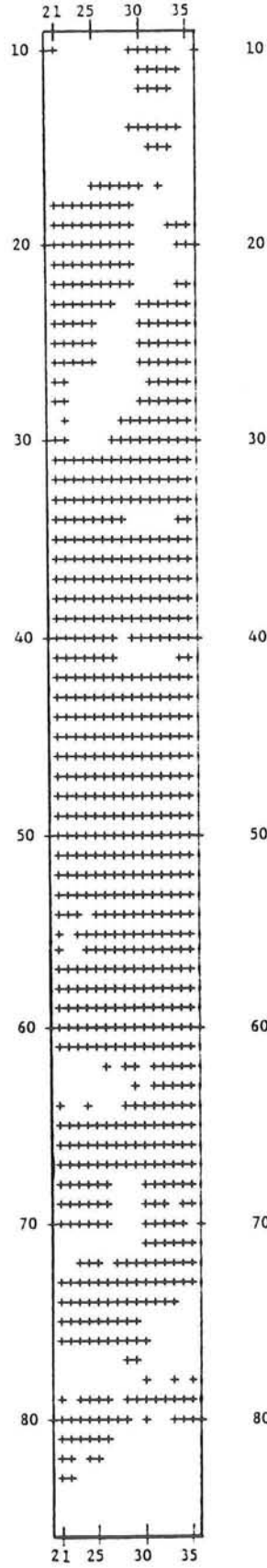
Door een optimalisatie van de stortstrategie, en dan met name gericht op het uitbreiden van het aantal stortgangen (verhaalslagen) en het zorgvuldig omgaan met de begin- en eindonregelmatigheid van het bresgedrag, zal mogelijk een betere verdeling, dus minder te storten kilo's per vierkante meter, van de laagdikte bereikt kunnen worden.



**STORTRESULTAAT
SIMULATIE "DAKPAN D"**



**STORTRESULTAAT
SIMULATIE "HALFSTEENS C"**



verklaring:

- +++++ laagdikte gelijk of groter dan 0.44 m.
- +++++ laagdikte groter of gelijk aan 0.22 m. en kleiner dan 0.44 m.
- + + + + +
- + + + + +
- + + + + +

Figuur 16.2

stortresultaat "DAKPAN D" en "HALF-STEENS C"

Literatuur

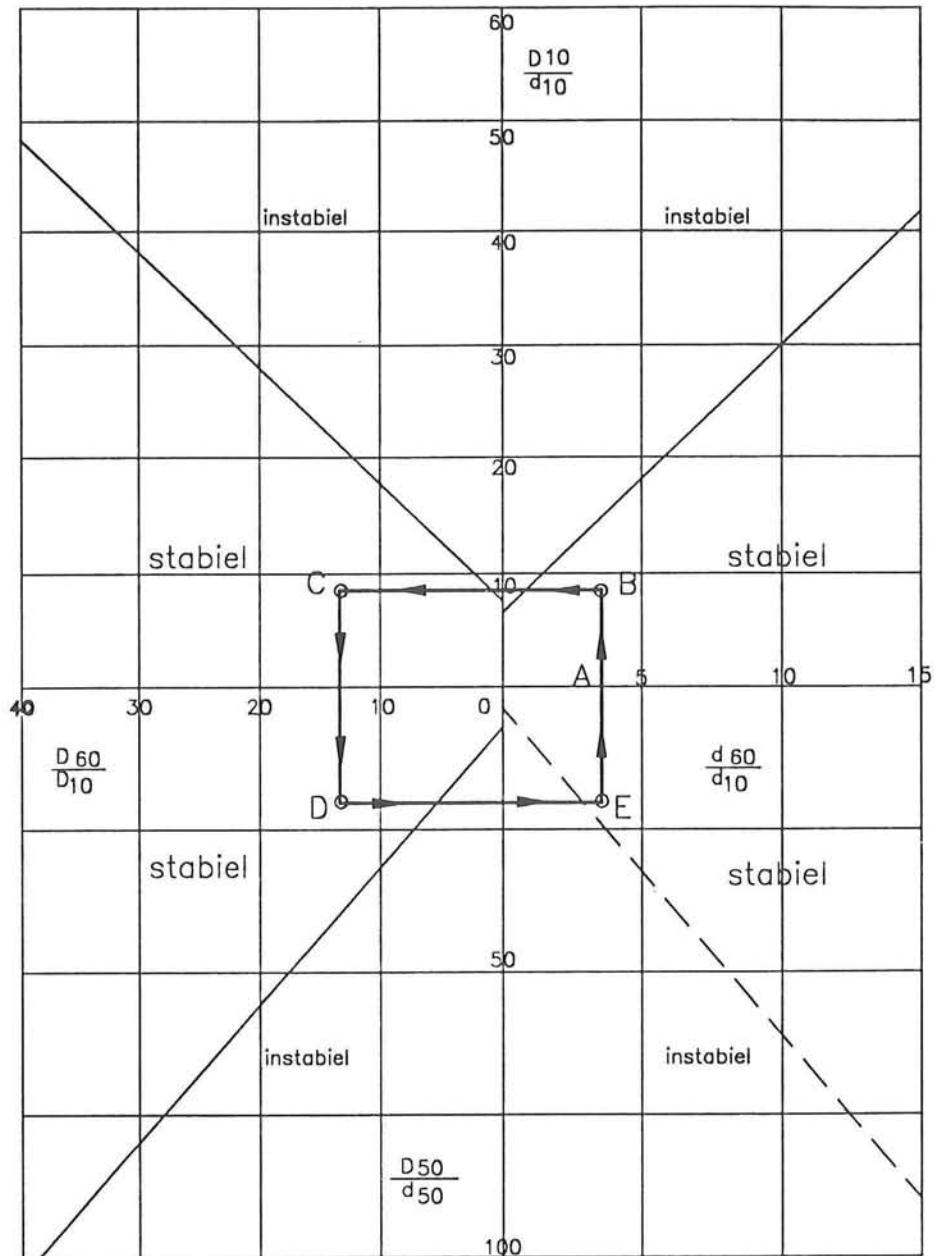
1. Leidraad Keuzemethodiek dijk- en overbekledingen, deel 1, technische adviescommissie voor de waterkeringen.
2. Orgaan voor postacademisch onderwijs in de technische wetenschappen (PATO), sectie civiele techniek en geodesie. PATO-cursus bodemverdediging 1984, OB 2; ontwerp- en uitvoeringsmethodiek, Delft, drs. ir. J.K. Vrijling. OB 3.1; Ontgrondingen achter uitstroomconstructies, Delft, ir. K.W. Pilarczyk.
3. Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw (literatuurstudie) CUR 89-1, januari 1989.
4. Evaluatie van de kwaliteitszorg voor de breuksteen voor de Stormvloedkering Oosterschelde, mei 1987, MAA-R-86074.
5. Evaluatie van de kwaliteitszorg voor zand en grind voor de Stormvloedkering Oosterschelde, juli 1988, MAA-R-88118.
6. Rekenregels voor waterbouwkundige ontwerpen, Rijkswaterstaat Directie Sluizen en Stuwen, Hoofdafdeling Waterbouw, mei 1990.
7. Filterconstructies in de Waterbouw, CUR-commissie C 54.
8. Onderzoek naar het stortresultaat van een steenstorter, verslag W.L. modelonderzoek, deel I en II, februari 1989 en december 1989, Q 673.
9. Stormmethode voor drempel en overgangsconstructie Stormvloedkering Oosterschelde, september 1983, M 1768.
10. Spreiding steen bij storten in water, verslag onderzoek in de stroomgoot te Lith, oktober 1985, ONW-R-85089.
11. PATO-cursus oever- en dijkbekleding OD 8, Delft 1989, K.J. Bakker.
12. PATO-cursus kwaliteitsborging KBTS, Delft, drs. ir. J.-K. Vrijling.
13. Cursus praktische kwaliteitsactiviteiten bij Projekt Uitvoering, ir. J. Leupen, d.d 29 en 30 november 1990.
14. Evaluatienota bestortingen bouwfase Stormvloedkering Oosterschelde, december 1986.

Vergelijking van voorgestelde sorteringen breuksteen
 NNI-werkgroep breuksteen/DWW

Sortering	D ₈₀ [m]	M ₈₀ [kg]	D _n [m]	laag 1)		D ₀₅ [m]	D ₁₅ [m]	D ₀₅ /D ₁₅ gem.
				dikte [m]	massa [kg/m ²]			
30/80 mm	0,045 - 0,065	0,15- 0,45	0,038- 0,055	0,09	150	0,085 - 0,064	0,048 - 0,024	2,22
40/100 mm	0,063 - 0,090	0,4 - 1,2	0,053- 0,075	0,12	200	0,118 - 0,086	0,067 - 0,038	2,01
50/150 mm	0,090 - 0,125	1,2 - 3,1	0,075- 0,110	0,17	300	0,173 - 0,125	0,096 - 0,054	2,06
80/200 mm	0,125 - 0,180	3,1 - 9,3	0,11 - 0,15	0,24	400	0,226 - 0,169	0,136 - 0,075	1,96
5 - 40 kg	0,20 - 0,25	13 - 26	0,17 - 0,21	0,35	600	0,33 - 0,28	0,20 - 0,16	1,70
10 - 60 kg	0,25 - 0,31	26 - 46	0,21 - 0,26	0,42	700	0,36 - 0,32	0,25 - 0,20	1,52
40 - 200 kg	0,38 - 0,44	90 - 140	0,32 - 0,37	0,60	1000	0,54 - 0,48	0,37 - 0,31	1,50
60 - 300 kg	0,45 - 0,52	150 - 220	0,38 - 0,43	0,72	1200	0,61 - 0,55	0,43 - 0,36	1,47
300 - 1000 kg	0,72 - 0,78	595 - 760	0,60 - 0,66	1,12	1875	0,92 - 0,83	0,66 - 0,60	1,39
1000 - 3000 kg	1,04 - 1,11	1800 - 2200	0,87 - 0,93	1,61	2700	1,31 - 1,20	0,97 - 0,88	1,36
3000 - 6000 kg	1,40 - 1,47	4400 - 5050	1,18 - 1,23	2,15	3600	1,64 - 1,51	1,32 - 1,26	1,22
6000 - 10000 kg	1,70 - 1,77	7850 - 8900	1,43 - 1,49	2,60	4350	1,95 - 1,80	1,63 - 1,57	1,17

1) Volgt uit 1.5. D₈₀, een dichtheid van 2700 kg/m³ en een holle ruimte van 38% of rechtstreeks uit de eisen voor de korrelverdeling.

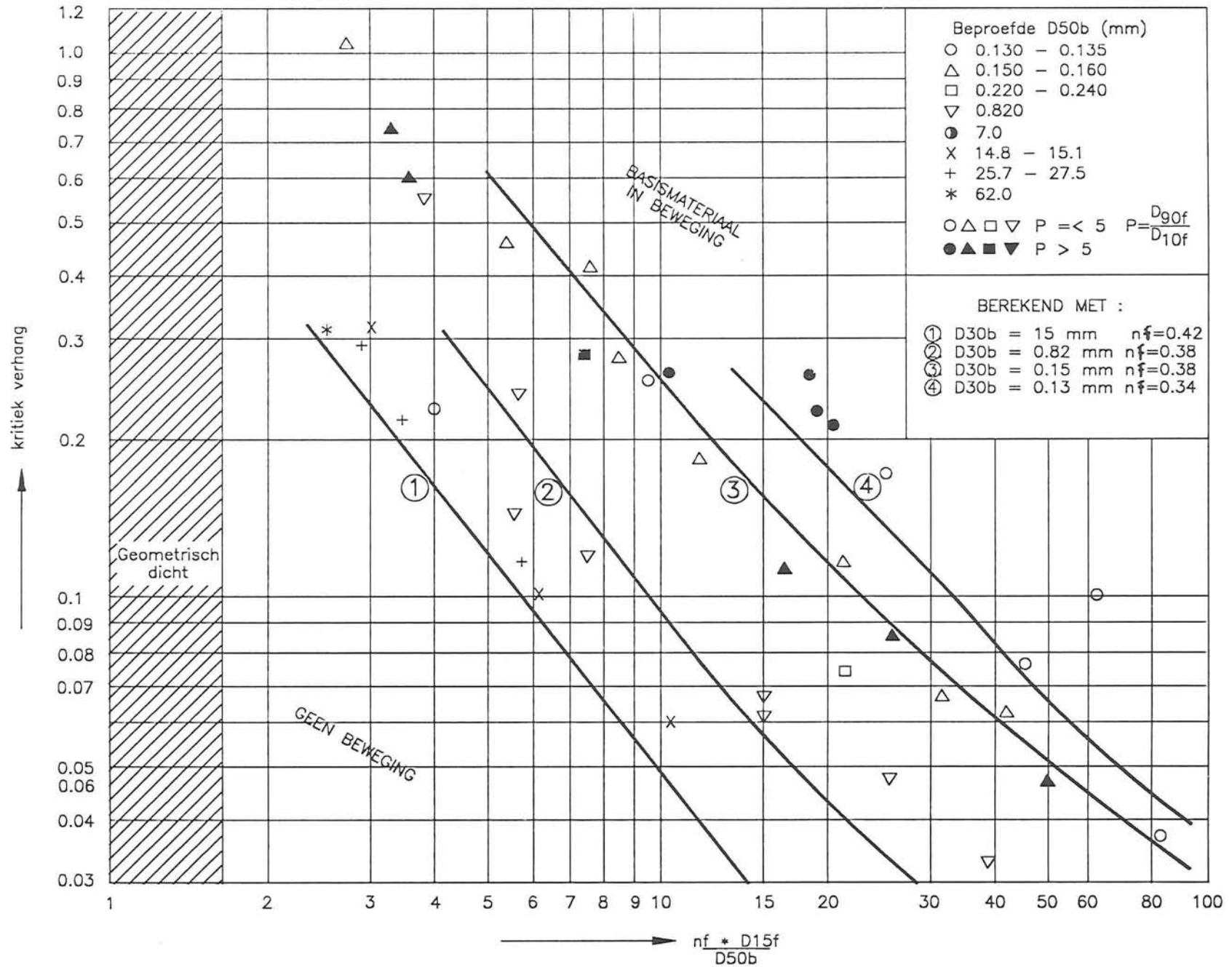
Filtercriteria

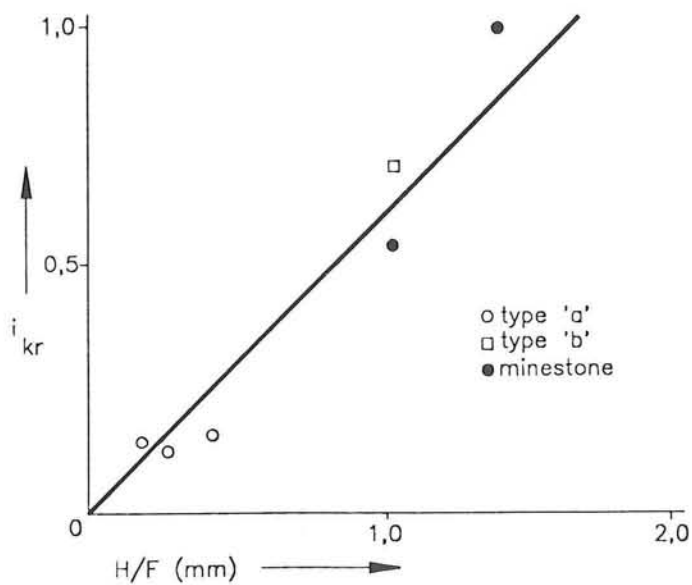
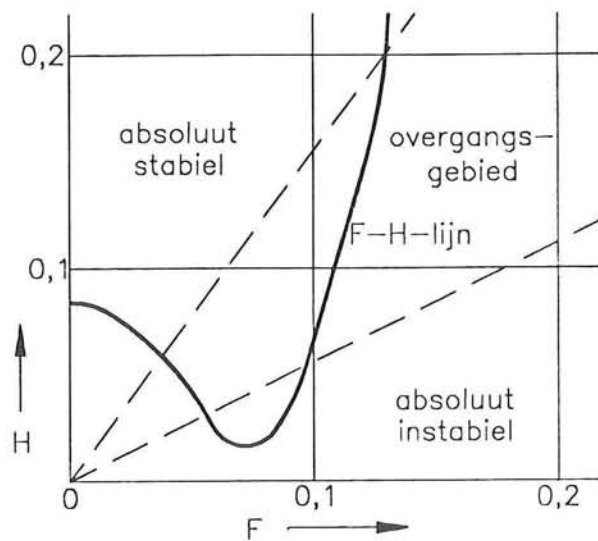
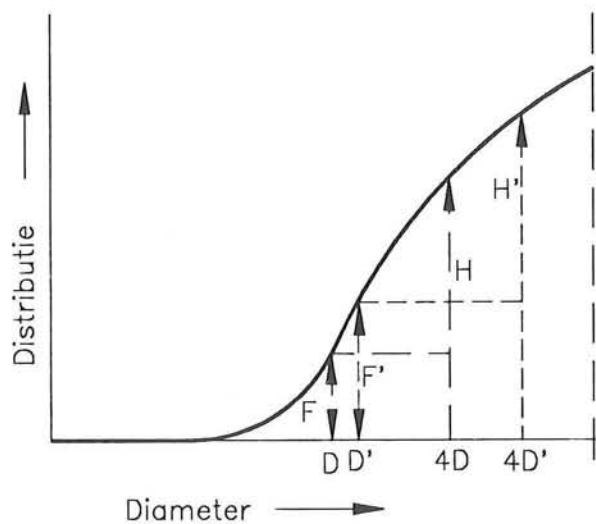


Ontwerpgrafiek voor geometrisch dichte filters volgens Thanikachalam en Sakthivadivel.

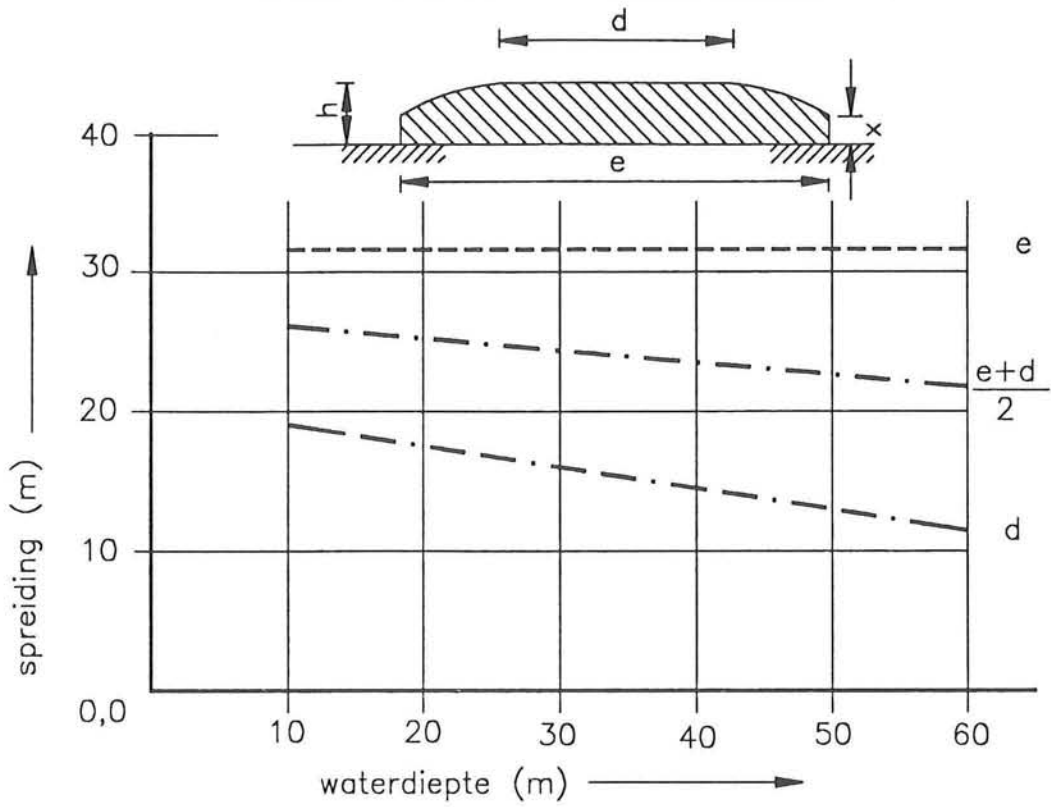
TOELICHTING: Op de positieve x-as (punt A) wordt gestart bij een gegeven verhouding tussen d_{60}/d_{10} . Bij een gegeven D_{10} wordt een punt B gevonden. Dit moet nog in het stabiele gebied liggen. Uit de uniformiteit U van het filtermateriaal wordt punt C gevonden, dat natuurlijk ook nog in het stabiele gebied moet liggen. Vervolgens wordt de verhouding D_{50}/d_{50} bepaald, waaruit punt D en tevens punt E volgt. Alle punten moeten in een stabiel gebied liggen.

nf = poriëngelate
 D15f = D15 filtermateriaal
 D50b = D50 basismateriaal

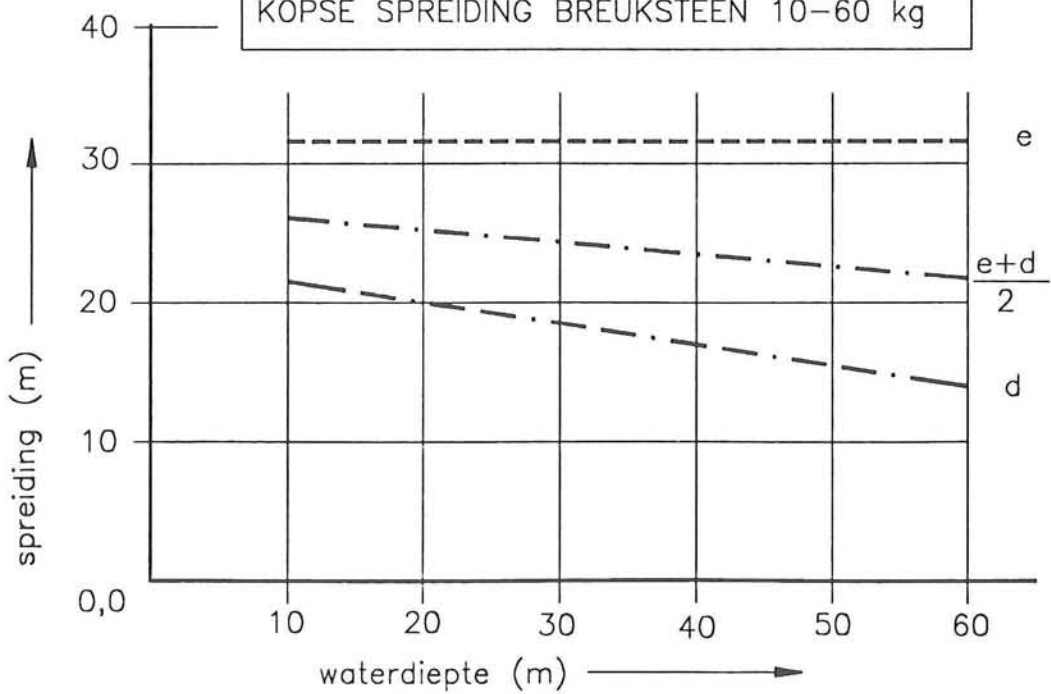


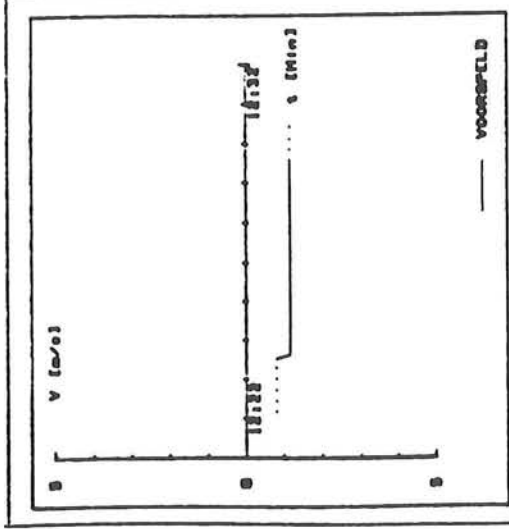


KOPSE SPREIDING GRINT 80-100mm



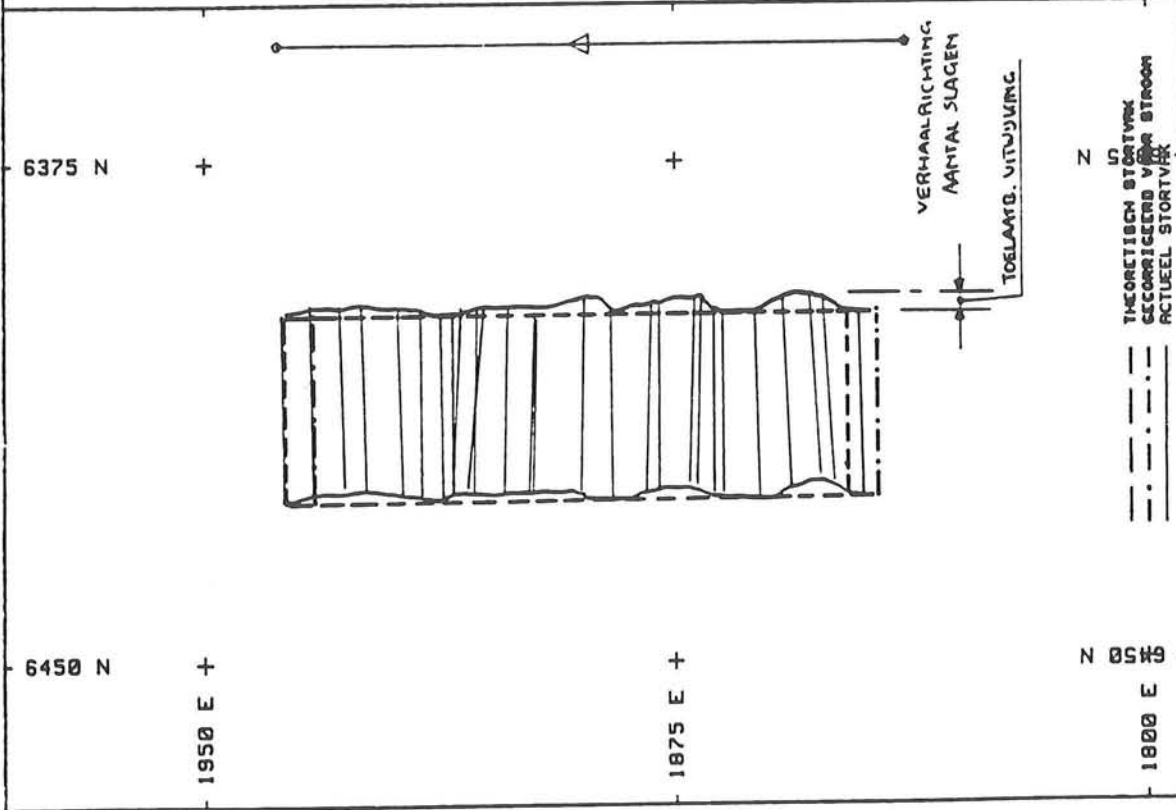
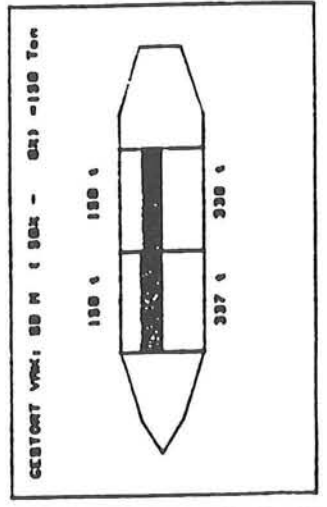
KOPSE SPREIDING BREUKSTEEN 10-60 kg





STROMRICHTING EN SNIJLIED

Richt. O.O
(D.C.G. s.o.v. TM)



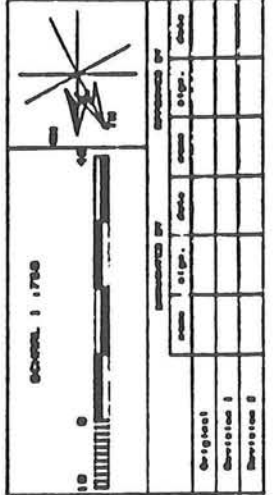
notes

Werkgebied : 8
 Sterftvak : 10 Mar 1987
 Begm stort (M.M.I.): 18.24.82
 Eindg stort (M.M.I.): 18.26.82

Laag identificatie : 7
 Steendiameter (m) : 14
 Sterkteheid (m/min) : 10.6
 Sterfcoëf : 10
 Sterfadviepte (m) : 10
 Ladinggewicht (t) : 878

Begm E: 1938 M: 8411
 Eind E: 1938 M: 8411

Stroom oer. DC: +0.0 DM: +0.0



PROJECT : **OOSTERSCHELDE**

OPDRACHT : **RIJKSWATERSTART**

STORT GEGEVENS

Steenarterter : MPM 601
 Sluitgat : Schaar-Oost
 Stort nr : 6397-6425-7-12-3

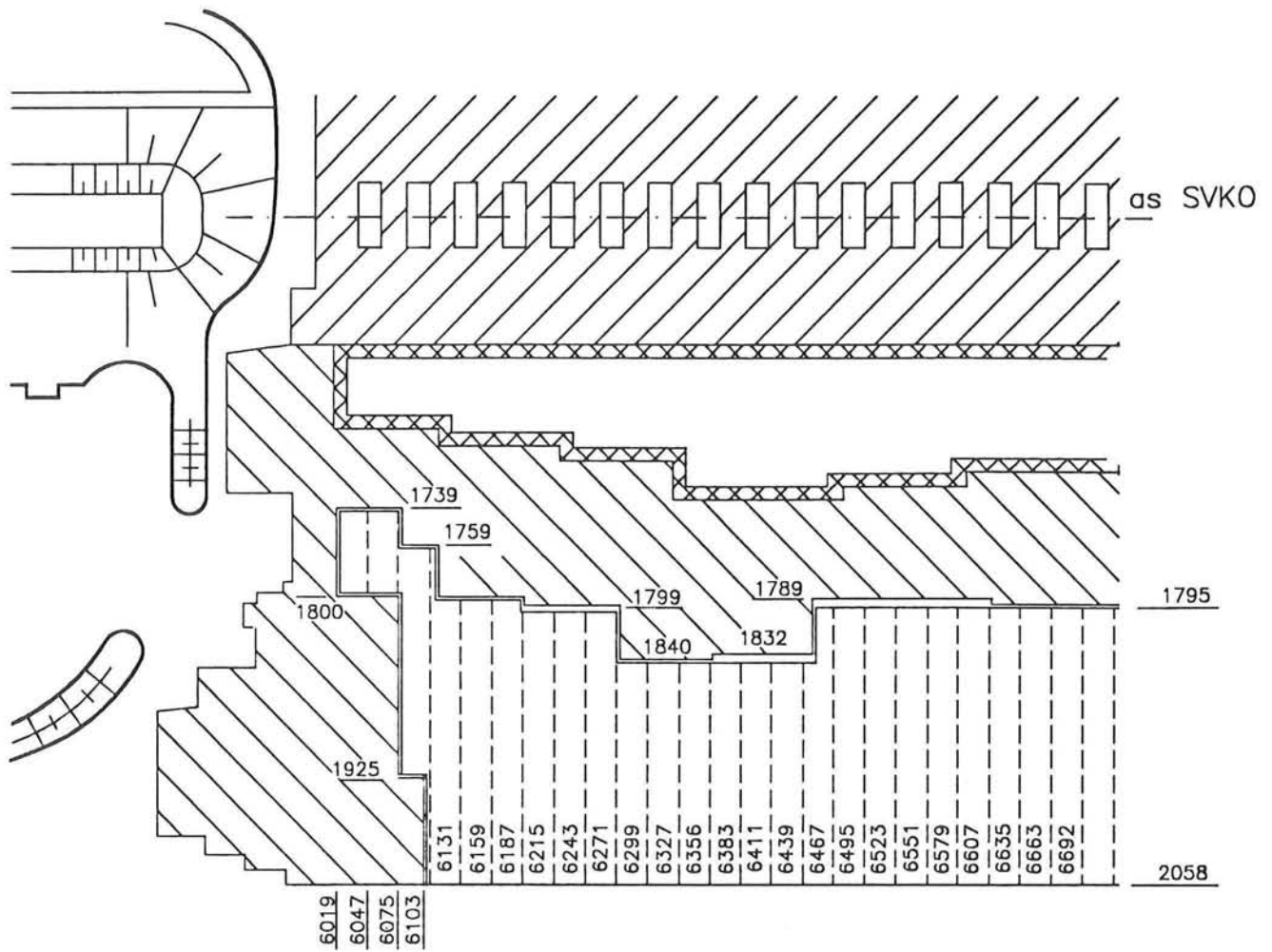
Proces beoordelingsformulier		Stortvaknummer: Steenstorter :						EIS	DIM.
	OMSCHRIJVING	REALISATIE							
1	Algemeen								
	Stortdatum + tijd (begin, einde) Steensoort + sortering Steendichtheid	-							- - kg/m ³
2	Belading steenstorter	regelma- tig	onregel- matig	hopen			leeg		
	Verdeling lading stuurboord-voor : stuurboord-achter : bakboord-voor : bakboord-achter :								
	Geladen gewicht							ton	
	Beladingslengte							m	
3	Controle Deel E (stortgegevens)								
	Stortgegevens gecontroleerd, besproken en akkoord bevonden door: - uitvoerder - opzichter	- (naam) - (naam)							- -
4	Beslissing tot storten								
	Beslissing tot storten op basis van:	-							- -
5	Stroomgegevens	1	2	3	4	5	6		
	Begintijd stortgang Eindtijd stortgang								- -
	Stroomsnelheid Stroomrichting								m/s deg
	Stortcorrectie in x-richting Stortcorrectie in y-richting								m m
	Diepte meetvis t.o.v. wateroppervlak positie meetvlet op schets achterzijde	-							m -
6	Schuifsnelheid								m/min
	Regelmatig (eenparig) Indien nee, omschrijving:	- ja / nee -							
	Visuele waarneming bresgedrag	regelmatig			onregelmatig				
	Indien onregelmatig aangeven plaats en afstand geconstateerde onregelmatigheid per stortgang.								
	einde stortvak en einde lading gelijk	- ja / nee							-
7	Bijzonderheden								
	- Aantal steundraden tijdens verhalen - Autopilot tijdens verhalen	- 0 / 1 / 2 op pijler(s): - ja / nee							- -
	- Extreem grote stenen in sortering - Schadevaring aan pijler c.q. schip	- ja / nee - ja / nee							- -
8	Plaatsbepaling tijdens storten	ARTEMIS / SEXTANT / TRIDENT							

	Max. afwijking begin stortgang	x y	- -		m m
	Max. afwijking einde stortgang	x y	- -		m m
	Max. dwarsafwijking tijdens stortgang		-		m
	Max. afwijking hoek stortlijn		-		deg
	Verhaalsnelheid regelmatig indien nee, omschrijving:		- ja / nee -		- -
	Controle oriëntatiepunten		ja / nee		
9	Externe omstandigheden				
	Waterdiepte		-		m
	Golfwaarneming - hoogte - periode - richting		- - -		m sec deg
10	Voorlopig oordeel kwaliteit stort		- goed / matig / slecht		-
	Formulier ingevuld door: - uitvoerder		- (naam)		-

schip:		datum:																		
stortvak:		plaatsbepalingssysteem:										<input type="checkbox"/> artemis <input type="checkbox"/> trident <input type="checkbox"/> raai + sextant								
X begin:		X eind:				1 x b:														
Y begin:		Y eind:																		
materiaal:		breuksteen 40 - 250 mm 0 breuksteen 10 - 60 kg 0 breuksteen 60 - 300 kg 0 breuksteen 300 - 1000 kg 0 breuksteen 1 - 3 ton 0																		
stortcode	tijd		tonnage	aantal gangen	stroomsnelheid in m/s								korrektie in m							
	begin	eind			stortgang								stortgang							
					1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
totaalgestort: totaal te storten : _____ verschil: _____					<u>bijzonderheden:</u> 															
beoordeling:																				

Stortbeoordelings formulier						
1	Aansluiting bouwfase bestorting	Realisatie	Eis	Dim		
	Aansluiting goed	Ja/Nee	Ja	m		
	Overlap					
	Infobron:Sonar nr. dd.					
	Procesreg. dd.					
	Peilingnr. dd.					
	Duikrapp.nr. dd.					
2	Gesloten laag					
	Laagdikte goed	Ja/Nee	Ja	m		
	Infobron:Sonar nr. dd.					
	Procesreg. dd.					
	Peilingnr. dd.					
	Duikrapp.nr. dd.					
3	Overlap naastliggend vak					
	Overlap:West			m		
	Oost			m		
	Noord			m		
	Zuid			m		
4	Bijzonderheden					
5	Advies goedkeuring Ja/Nee					
	Maatregelen bij nee					
6	Kwaliteit van de inspectie's t.b.v. beoordeling kwaliteit stort					
	Omschrijving	niet aanw.	niet bruikb.	onv.	matig	goed
	Sonar					
	Peiling					
	Duikrapport					
	Procesreg.					

Opmerkingen: Soort peiling:
 Vaartuig :



	Drempel
	Asfaltmastiek
	reeds aangebrachte verdediging
	aan te brengen stortvelden breuksteen 40-250 kg, 325 kg/m ²
1795	afstanden t.o.v. sluitgatgrid
1630	

GEDEELTE STORTPLAN BODEMVERDEDIGING
SLUITGAT SCHAAR VAN ROGGENPLAAT

