

# Beunbezinkprocessen

Studie naar het te verwachten poriënvolume in een beun

September 1999

~~S.A. van Eeten~~

---

# Voorwoord

Dit rapport bevat het afstudeerverslag 'Beunbezinkprocessen. studie naar het te verwachten poriënvolume in een beun', uitgevoerd aan de Technische Universiteit Delft, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, subfaculteit Civiele Techniek. vakgroep Waterbouwkunde.

In dit afstudeerwerk is gekeken naar verschillende methoden en modellen voor het afschatten van het poriënvolume. Het idee om hier onderzoek naar te verrichten is naar aanleiding van een grafiek, die in de baggerpraktijk voor het afschatten van poriënvolumes wordt gebruikt, ontstaan. In dit afstudeerverslag is gekeken naar een mogelijke verificatie van deze grafiek.

Het laboratoriumonderzoek is verricht in de meethal van GeoDelft. Het veldonderzoek is aan boord van een sleepopperzuiger van de firma D. Blankenvoort voor de kust van IJmuiden uitgevoerd. Ik wil hierbij iedereen bedanken voor de verleende medewerking en de gezellige werksfeer.

De afstudeercommissie bestaat uit de volgende personen:

Prof. Ir. K. d'Angremond	- voorzitter	TU Delft
Dr. Ir. P.J. Visser	- coördinator examiner	TU Delft
Ir. G.L.M. van der Schrieck	- examiner	TU Delft
Ir. P. Lubking	- dagelijks begeleider	GeoDelft
Ir. G.L.M. van Helden	- begeleider	Boskalis

Delft, september 1999  
S.A. van Eeten

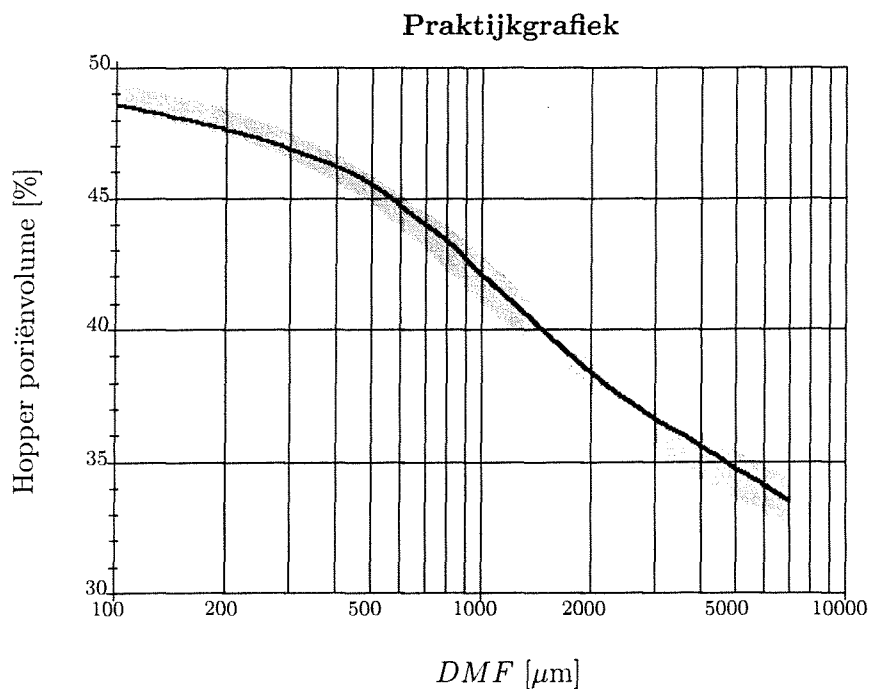
# Samenvatting

In de baggerpraktijk gaat het vooral om de hoeveelheid zand die geladen kan worden en de tijd die daarvoor nodig is. Om de kosten van het project te kunnen bepalen, is een nauwkeurige schatting van het benodigde aantal beunladingen gewenst.

Het bepalen of berekenen van poriënvolumes in een beun levert de nodige problemen op. Daarom wordt vaak voor het poriënvolume in het beun een waarde van  $n = 40\%$  aangenomen. In de praktijk blijkt echter dat een dergelijke aanname te optimistisch maar soms ook te pessimistisch is. Vaak worden in de praktijk grafieken gebruikt om het poriënvolume te schatten.

## Doelstelling

Dit onderzoek heeft als doel de praktijkgrafiek te verifiëren.



Om dit doel te bereiken zijn twee hypothesen geformuleerd. Deze hypothesen geven een mogelijk oorzaak van de in de grafiek weergegeven waarden weer.

Hypothese 1 *Naarmate de DMF toeneemt, treedt minder vertraging op in het bezinkproces.*

Hypothese 2 *Naarmate de DMF toeneemt, wordt per definitie een dichtere pakking gerealiseerd.*

## Werkwijze

Het onderzoek is opgesplitst in drie delen.

### Deel 1: literatuurstudie

In deze literatuurstudie wordt een aantal insitu-meetmethoden omschreven voor het bepalen van het poriënvolume in de beun. Deze methoden zijn echter omslachtig uit te voeren en leveren onnauwkeurige resultaten op.

Hierna worden beunbezinkmodellen behandeld. Deze modellen zijn echter ongeschikt om een poriënvolume te berekenen. Bij een aantal modellen is het poriënvolume wel een invoerparameter.

Tenslotte komt een berekeningsmethode voor onderwaterstorten aan bod. Met deze methode van Heezen en Van der Stap kan het insitu-poriënvolume worden berekend. Het is echter onduidelijk of dit ook voor het berekenen van het poriënvolume in het zandpakket in een beun kan worden gebruikt.

### Deel 2: laboratoriumonderzoek

In het laboratorium zijn met een aantal proeven de verschillende zanden geïnclassificeerd. Er zijn korrelverdelingen, minimum en maximum poriënvolumes, doorlatendheid en rondheid van de zandkorrels bepaald.

Verder is een bezinkverdichtingsproef uitgedacht. Met deze proef zijn op eenvoudige wijze de invloeden, die het zandwatermengsel bij bezinking in de beun ondervindt, gesimuleerd. Met behulp van de resultaten van deze proef is de praktijk-grafiek geïncalibreerd.

### Deel 3: veldonderzoek

Er zijn een aantal metingen aan boord van een sleepopperzuiger verricht. Het aantal uitgevoerde proeven is echter te gering om waardevolle conclusies uit te trekken.

## Conclusies

De volgende conclusies kunnen naar aanleiding van dit rapport getrokken worden:

- het verloop van de grafiek, die in de baggerpraktijk gebruikt wordt, is reëel
- de schatting van het insitu-poriënvolume kan verbeterd worden door de methode van Heezen en Van der Stap te gebruiken
- voor de eerste hypothese "naarmate de DMF toeneemt, treedt minder vertraging in bezinkproces op", is geen bewijs gevonden
- de tweede hypothese "naarmate de DMF toeneemt, wordt een dichtere pakking gerealiseerd", is wel bevestigd

## Aanbevelingen

Voor verder onderzoek kunnen twee aanbevelingen gedaan worden:

- de bezinkverdichtingsproef op grotere schaal uitvoeren  
de invloed van de glazen cilinder op de processen, die tijdens de bezinkverdichtingsproef een rol spelen, is namelijk onbekend en als de schaal waarop de proef wordt uitgevoerd toeneemt, neemt de mogelijke invloed van de cilinderdiameter en -wand op deze processen af
- meer veldproeven uitvoeren  
hierbij moeten alle parameters van de zanden bepaald worden, met name de  $DMF$ , uniformiteitscoëfficiënt en het minimale en maximale poriënvolume en ook moeten zanden met grotere waarden voor de  $DMF$ , dan die in het laboratorium beproefd zijn, getest worden

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Probleemanalyse</b>	<b>1</b>
1.1	Inleiding . . . . .	1
1.2	Probleemomschrijving . . . . .	2
1.3	Probleemstellingen . . . . .	3
1.4	Probleemaanpak . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Literatuurstudie</b>	<b>5</b>
2.1	Inleiding . . . . .	5
2.2	Basisbegrippen . . . . .	5
2.2.1	Korrelverdelingen . . . . .	5
2.2.2	Relatieve dichtheid . . . . .	7
2.2.3	Het begrip "hindered settlement" . . . . .	8
2.3	Eigenschappen van natuurlijke zanden . . . . .	9
2.3.1	De relatie tussen $DMF$ en ongelijkmatigheidscoëfficiënt $C_u$ . . . . .	10
2.3.2	De relatie tussen ongelijkmatigheidscoëfficiënt en minimum- en maximumporiënvolume . . . . .	11
2.3.3	Proctordichtheden . . . . .	11
2.4	Bepaling van dichtheid aan boord van baggerschepen . . . . .	15
2.4.1	Toepassing in situ meetmethoden . . . . .	15
2.4.2	Toepassing Tonnen Droge Stof systeem (T.D.S.) . . . . .	16
2.5	Beunbezinkmodellen . . . . .	16
2.5.1	Het ideale bezinkbakmodel . . . . .	18
2.5.2	Het beunbezinkmodel volgens Groot [1981] . . . . .	19
2.5.3	Dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning[1977] . . . . .	21
2.5.4	Drielagenmodel volgens Mastbergen[1988] . . . . .	22
2.5.5	Stortmodel volgens Theijse[1990] . . . . .	25
2.5.6	Conclusie beunbezinkmodellen . . . . .	27
2.6	Onderwaterstort . . . . .	27
2.6.1	Berekening van de relatieve dichtheid van een onderwaterstort . . . . .	28
2.6.2	Conclusie onderwaterstort . . . . .	29
2.7	Conclusie literatuurstudie . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Laboratoriumonderzoek</b>	<b>31</b>
3.1	Inleiding . . . . .	31
3.2	Classificatieproeven . . . . .	31
3.2.1	Korrelverdeling . . . . .	31

3.2.2	Minimum- en maximumdichtheid . . . . .	32
3.2.3	Korrelvorm . . . . .	32
3.2.4	Doorlatendheid . . . . .	32
3.3	Bezinkverdichtingsproef . . . . .	33
3.3.1	Proefopstelling . . . . .	35
3.3.2	Energiebeschouwing . . . . .	35
3.4	Waarnemingen . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Veldonderzoek</b>	<b>43</b>
4.1	Inleiding . . . . .	43
4.2	Meetmethode . . . . .	43
4.3	Veldwerk . . . . .	44
4.4	Meetresultaten . . . . .	45
4.5	Conclusie veldonderzoek . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Verwerking meetgegevens</b>	<b>47</b>
5.1	Controle meetgegevens . . . . .	47
5.1.1	Diameter mediane fractie en uniformiteitscoëfficiënt . . . . .	47
5.1.2	Uniformiteitscoëfficiënt en minimale en maximale poriënvolume . . . . .	47
5.1.3	Doorlatendheid . . . . .	48
5.2	Verwerking meetgegevens . . . . .	51
5.2.1	Verdichtingsenergie tegen poriënvolume en relatieve dichtheid . . . . .	51
5.2.2	Verdichtingsenergie tegen toename poriënvolume en relatieve dichtheid . . . . .	51
5.3	Relatie poriënvolume onderwaterstort en gemeten poriënvolume . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>55</b>
6.1	Controle hypothesen . . . . .	55
6.1.1	Hypothese 1 . . . . .	55
6.1.2	Hypothese 2 . . . . .	56
6.2	Verificatie van de praktijkgrafiek . . . . .	56
6.3	Eindconclusies . . . . .	57
6.4	Aanbevelingen . . . . .	58
<b>I</b>	<b>Korrelverdelingen zandmonsters</b>	<b>i</b>
<b>II</b>	<b>Methode GeoDelft voor bepalen minimum en maximum dichtheid</b>	<b>xvii</b>
<b>III</b>	<b>Methode VVS voor bepalen van de scherppte van zand</b>	<b>xix</b>
<b>IV</b>	<b>Meetresultaten bezinkverdichtingsproef</b>	<b>xxi</b>
<b>V</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>liii</b>

# Lijst van figuren

1.1	Sleephopperzuiger . . . . .	1
1.2	Praktijk-grafiek: poriënvolume als functie van $DMF$ . . . . .	2
2.1	$DMF-C_u$ van kwartszand . . . . .	11
2.2	Minimum en maximum poriënvolume als functie van $C_u$ en $R$ . . . . .	12
2.3	Minimum en maximum poriënvolume als functie van $C_u$ en $VVS$ . . . . .	13
2.4	Relatie $DMF-n_{pr}$ voor kwartszanden . . . . .	13
2.5	Verzwaarde maximum roctordichtheid als functie van $C_u$ . . . . .	14
2.6	Verbeterd T.D.S. systeem . . . . .	17
2.7	Bezinkbakmodel volgens Camp . . . . .	18
2.8	Bezinkmodel volgens Groot . . . . .	20
2.9	Fase 2 in het dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning . . . . .	22
2.10	Fase 3 in het dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning . . . . .	22
2.11	Drielagen model volgens Mastbergen . . . . .	24
2.12	Bezinkmodel volgens Theijse . . . . .	26
2.13	Zandcondities . . . . .	28
3.1	Zanddoorlatendheidsapparaat . . . . .	33
3.2	Doorlatendheid van de verschillende zanden . . . . .	34
3.3	Proefopstelling . . . . .	36
3.4	Probleemschematisatie voor de energie overdracht . . . . .	37
5.1	$DMF-C_u$ van kwartszand . . . . .	49
5.2	Minimum en maximum poriënvolume als functie van $C_u$ en $VVS$ . . . . .	49
5.3	Doorlatendheid tegen het poriënvolume . . . . .	50
5.4	Doorlatendheid tegen relatieve dichtheid . . . . .	50
5.5	Verdichtingsenergie tegen het gemiddelde poriënvolume . . . . .	52
5.6	Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde relatieve dichtheid . . . . .	52
5.7	Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde toename van het poriënvolume . . . . .	53
5.8	Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde toename van de relatieve dichtheid . . . . .	53
6.1	Verificatie van praktijk-grafiek . . . . .	57
I.i	Zeefkromme WL-A . . . . .	ii
I.ii	Zeefkromme WL-B . . . . .	iii
I.iii	Zeefkromme WL-C . . . . .	iv
I.iv	Zeefkromme WL-D . . . . .	v
I.v	Zeefkromme WL-E . . . . .	vi



I.vi	Zeefkromme Baskarp . . . . .	vii
I.vii	Zeefkromme Sylt . . . . .	viii
I.viii	Zeefkromme Metselzand . . . . .	ix
I.ix	Zeefkromme Zeefzand . . . . .	x
I.x	Zeefkromme Amerongen . . . . .	xi
I.xi	Zeefkromme Zeyenzand . . . . .	xii
I.xii	Zeefkromme Rijsbergen . . . . .	xiii
I.xiii	Zeefkromme Glasparels . . . . .	xiv
I.xiv	Zeefkromme Brekerzand . . . . .	xv
I.xv	Zeefkromme Alpha Bay . . . . .	xvi

# Lijst van tabellen

2.1	NEN 5104 omschrijvingen voor waarden van uniformiteitscoëfficiënt $C_u$	6
2.2	$C_D$ -waarden in het laminaire en turbulente gebied met overgangsgebied	9
2.3	Relatie tussen $Re$ en $m$ volgens Richardson en Zaki	9
2.4	Verschil tussen $DMF$ en $d_g$	10
2.5	Poriënvolumen bij onderwaterstorten vergeleken met $n_{freeze}$	29
3.1	Overzicht parameters van de classificatieproeven	40
3.2	Overzicht waarnemingen van de bezinkverdichtingsproef	41
5.1	Resultaten met berekeningsmethode van onderwaterstort	54
IV.i	Meetgegevens WL-A	xxii
IV.ii	Meetgegevens WL-B	xxiv
IV.iii	Meetgegevens WL-C	xxvi
IV.iv	Meetgegevens WL-D	xxviii
IV.v	Meetgegevens WL-E	xxx
IV.vi	Meetgegevens Baskarp	xxxii
IV.vii	Meetgegevens Sylt	xxxiv
IV.viii	Meetgegevens Metselzand	xxxvi
IV.ix	Meetgegevens Zeefzand	xxxviii
IV.x	Meetgegevens Amerongen	xl
IV.xi	Meetgegevens Zeyenzand	xlii
IV.xii	Meetgegevens Rijsbergen	xliv
IV.xiii	Meetgegevens Glasparels	xlvi
IV.xiv	Meetgegevens Brekerzand	xlviii
IV.xv	Meetgegevens Alpha Bay	l

# Lijst van symbolen

$A$	oppervlakte beun	$[m^2]$
$B$	breedte beun	$[m]$
$C$	concentratie vaste stof in zand water mengsel	$[-]$
$C_{10}$	10% vaste stof in zand water mengsel	$[-]$
$C_{20}$	20% vaste stof in zand water mengsel	$[-]$
$C_{30}$	30% vaste stof in zand water mengsel	$[-]$
$C_b$	bodemconcentratie	$[-]$
$C_c$	krommingscoëfficiënt	$[-]$
$C_D$	sleefcoëfficiënt	$[-]$
$C_e$	evenwichtsconcentratie	$[-]$
$C_{in}$	mengselconcentratie van invoer debiet	$[-]$
$C_{uit}$	mengselconcentratie van overstort debiet	$[-]$
$C_u$	uniformiteitscoëfficiënt	$[-]$
$DMF$	diameter mediane fractie	$[m]$
$D_r$	relatieve dichtheid	$[\%]$
$d$	korreldiameter	$[mm]$
$d_g$	gemiddelde korreldiameter volgens Floss	$[mm]$
$d_{xx}$	korreldiameter met $xx\%$ kleinere diameters in het mengsel	$[mm]$
$d'$	gemiddelde korreldiameter van 2 opeenvolgende zeven	$[mm]$
$E$	energie	$[J]$
$e$	poriëngetal (Eng: void ratio)	$[\%]$
$e_{max}$	maximaal poriëngetal	$[\%]$
$e_{min}$	minimaal poriëngetal	$[\%]$
$e_{situ}$	in situ poriëngetal	$[\%]$
$G_l$	gewicht lading	$[kg]$
$g$	zwaartekrachtversnelling	$[m/s^2]$
$H$	hoogte beun	$[m]$
$I_d$	relatieve dichtheid	$[\%]$
$k$	doorlatenheidscoëfficiënt	$[m/s]$
$L$	effectieve lengte beun	$[m]$
$M_t$	massa totaal	$[ton]$
$m$	massa slinger	$[g]$
$n$	poriënvolume	$[\%]$
$n_{freeze}$	poriënvolume bij stilstand volgens Heezen en Van der Stap	$[\%]$
$n_{kr}$	kritisch poriënvolume	$[\%]$
$n_{max}$	maximaal poriënvolume	$[\%]$
$n_{min}$	minimaal poriënvolume	$[\%]$

$n_{situ}$	in situ poriënvolume	[%]
$Q$	debiet	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{in}$	aanvoer debiet	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_m$	mengsel debiet	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{uit}$	overstort debiet	[m <sup>3</sup> /s]
$R$	korrelvorm/oppervlakte ruwheid	[-]
$Re$	Reynoldsgetal	[-]
$s$	locale sediment-transportcapaciteit	[-]
$t$	tijd	[s]
$t_e$	eindtijd	[s]
$u$	stroomsnelheid	[m/s]
$\bar{u}$	gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]
$V_b$	volume beun	[m <sup>3</sup> ]
$V_k$	volume korrels	[m <sup>3</sup> ]
$V_p$	volume poriën	[m <sup>3</sup> ]
$V_t$	volume totaal	[m <sup>3</sup> ]
$V_w$	volume water	[m <sup>3</sup> ]
$V_z$	volume zand	[m <sup>3</sup> ]
$VVS$	VoldersVerhoevenScherpte	[-]
$v$	snelheid slinger	[m/s]
$w_0$	ongestoorde valsnelheid	[m/s]
$w_s$	hindered settlement	[m/s]
$z$	vertikale coördinaat	[m]
$\beta$	hellings hoek	[°]
$\Delta$	relatieve massa zand onder water	[-]
$\epsilon$	turbulentie-diffusie coëfficiënt	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda$	zand concentratie	[-]
$\nu$	kinematische viscositeit	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho_l$	dichtheid lading	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_m$	mengsel dichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{max}$	maximale dichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{min}$	minimale dichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{pr}$	Proctordichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	dichtheid vaste stof	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{situ}$	dichtheid in situ	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{Vpr}$	Verzwaarde Proctordichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	dichtheid water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_z$	dichtheid zand	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau_{min}$	minimale schuifspanning	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\Psi$	vormfactor	[-]

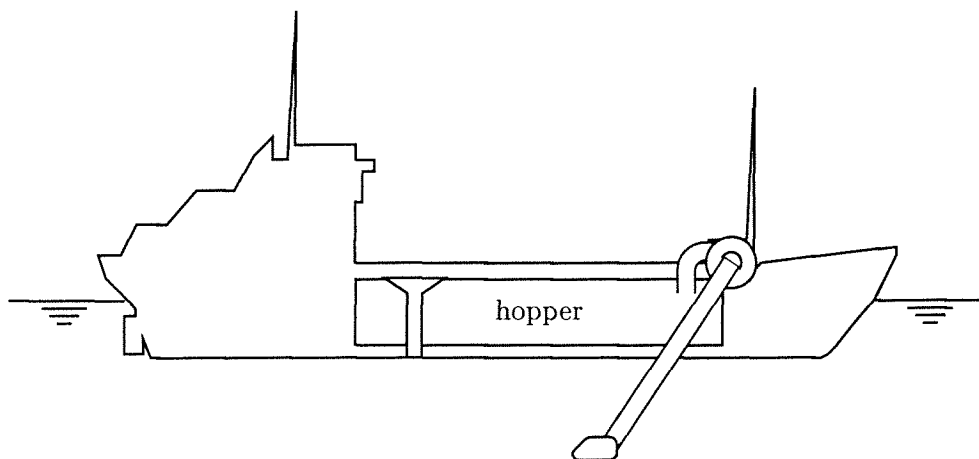
# Hoofdstuk 1

## Probleemanalyse

### 1.1 Inleiding

In de baggerindustrie wordt vaak gebruik gemaakt van sleephopperzuigers. Hiermee is het mogelijk om op zee zand te winnen of geulen uit te diepen. Een sleephopperzuiger sleept een lange buis over de bodem, waardoor een zandwatermengsel wordt opgezogen. Dit mengsel slaat men op in het ruim van het schip. Dit ruim wordt een hopper of beun genoemd.

Het opslaan is echter niet zo eenvoudig als het lijkt. Van het zandwatermengsel moet het zand in de hopper bezinken en alleen het water mag weer overboord stromen. De processen die in het ruim tijdens het bezinken plaats vinden, noemt men beunbezinkprocessen.



Figuur 1.1: Sleehopperzuiger

Er is al veel onderzoek gedaan naar de processen die bij het bezinken van zand in een hopper optreden. Hierbij wordt getracht om het ontstaan en de opbouw van het zandpakket zo nauwkeurig mogelijk te beschrijven.

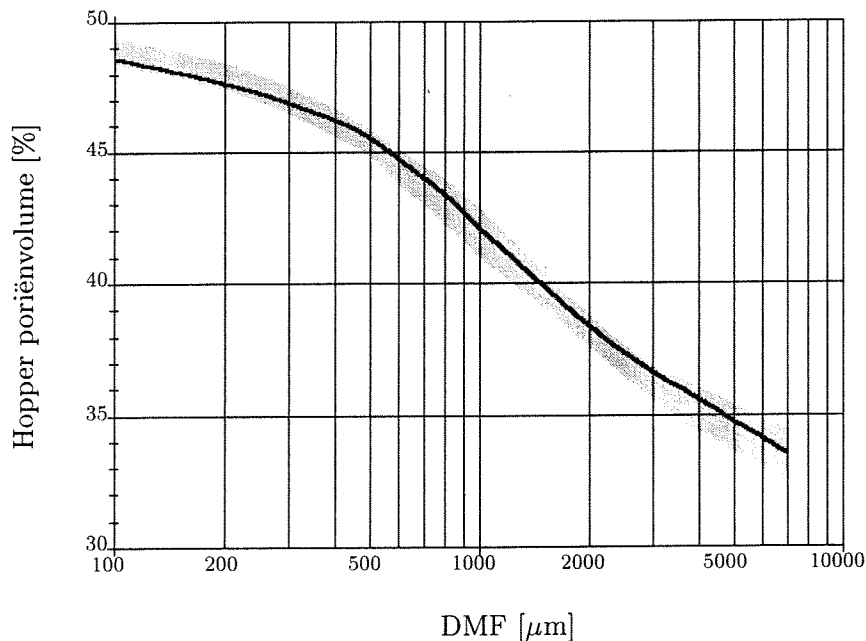
In de praktijk gaat het echter vooral om de massa zand die geladen kan worden en de tijd die daarvoor nodig is. Als bijvoorbeeld een stuk land moet worden opgespoten, is er in het bestek

precies omschreven hoeveel  $m^3$  zand met een bepaald poriënvolume geleverd moet worden. Om nu de kosten van het project te kunnen bepalen, is een nauwkeurige schatting van het benodigde aantal beunladingen gewenst.

Het bepalen of berekenen van poriënvolumes in een beun levert de nodige problemen op. Daarom wordt vaak voor het poriënvolume in de beun een waarde van  $n = 40\%$  aangenomen. In de praktijk blijkt echter dat een dergelijke aanname te optimistisch maar soms ook te pessimistisch is.

## 1.2 Probleemomschrijving

In de praktijk worden voor het schatten van het poriënvolume grafieken gebruikt. Deze grafieken zijn gebaseerd op metingen die aan boord van baggerschepen zijn gedaan. De gemiddelde korreldiameter of de diameter van de mediane fracties ( $DMF$ ) is daarbij uitgezet tegen het poriënvolume  $n$ . Deze grafiek wordt door een Nederlandse baggerfirma gehanteerd.



Figuur 1.2: Praktijk-grafiek: poriënvolume als functie van  $DMF$

Daarbij wordt de  $DMF$  ontleend aan de korrelgrootteverdeling; de definitie is:

$$DMF = \frac{d_{10} + d_{20} + d_{30} + d_{40} + d_{50} + d_{60} + d_{70} + d_{80} + d_{90}}{9}$$

Uit de grafiek blijkt dat bij kleine  $DMF$  aanzienlijk grotere poriënvolumes dan 40% worden gemeten. Bij toenemende  $DMF$  nemen deze af. Er zijn dus duidelijke verschillen tussen de poriënvolumes bij fijnere en grovere zanden. De metingen die in de grafiek zijn gevisualiseerd, zijn direct na het vullen van de beun verricht.

### 1.3 Probleemstellingen

Dit onderzoek heeft als doel de praktijkgrafiek te verifiëren.

Om dit doel te bereiken zijn twee hypothesen geformuleerd. Deze hypothesen geven een mogelijke oorzaak van de in de grafiek weergegeven waarden weer.

**Hypothese 1** *Naarmate de  $DMF$  toeneemt, treedt minder vertraging op in het bezinkproces.*

Bij hoge concentraties, dus ook hoge aanvoer van korrels, wordt de sedimentatiesnelheid erg laag, omdat het water krijgt geen gelegenheid weg te stromen. Er blijft gedurende relatief lange tijd veel water tussen de korrels aanwezig. Na het beëindigen van de aanvoer zal deze overmaat aan water langzaam wegstromen.

Bij fijn zand, kleine  $DMF$ , is de grootte van de poriën kleiner dan bij grovere zanden, grote  $DMF$ , en daardoor zal bij fijn zand deze overmaat aan water langzamer wegstromen. Door de lagere bezinksnelheid van het fijne zand is de impact van elke vallende individuele korrel op de daaronder gelegen korrels kleiner bij fijn zand en kan er bij fijn zand dus ook een losser korrelskelet worden opgebouwd. Naarmate het zand grover wordt en dus ook de  $DMF$  groter wordt, neemt de sedimentatiesnelheid toe en zal een minder los pakket worden opgebouwd.

**Hypothese 2** *Naarmate de  $DMF$  toeneemt, wordt per definitie een dichtere pakking gerealiseerd.*

Natuurlijke zanden vertonen een betere gradering naarmate ze grover zijn. In goed gegradeerde mengsels zijn bij natuurlijke zanden ook meer verschillende korreldiameters aanwezig. Hierdoor kunnen de poriën beter gevuld worden dan bij slecht-gegradeerd materiaal. Daardoor kan een dichter korrelskelet worden opgebouwd.

### 1.4 Probleemaanpak

Het onderzoek wordt in de volgende delen opgesplitst:

- Hoofdstuk 2: Literatuurstudie
- Hoofdstuk 3: Laboratoriumproeven
- Hoofdstuk 4: Veldonderzoek
- Hoofdstuk 5: Verwerking meetgegevens
- Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen

In de literatuurstudie zijn diverse onderzoeken bekeken. Allereerst worden een aantal basisbegrippen omschreven (§2.2). Vervolgens worden de eigenschappen van natuurzanden (§2.3) en de verschillende methoden voor de bepaling van in-situ dichtheden aan boord van baggerschepen (§2.4) behandeld. In §2.5 zijn de verschillende beunbezinkmodellen beschreven. Vervolgens wordt er in §2.6 gekeken naar een methode waarmee eenvoudig het poriënvolume van een onderwaterstort kan worden berekend.

In hoofdstuk 3 zijn de uitgevoerde laboratoriumproeven beschreven. Allereerst zijn de verschillende zand parameters, zoals de korrelverdeling, de korrelvorm, de doorlatendheid, en de minimum en maximum dichtheid bepaald. Daarna is een uitgebreid onderzoek gedaan naar de verschillen in poriënvolumes die ontstaan bij zanden met verschillende *DMF*.

Naast het laboratoriumonderzoek zijn er metingen op een baggerschip verricht, welke worden beschreven in hoofdstuk 4. De nadruk in dit rapport ligt echter op het laboratoriumonderzoek. Dit komt voornamelijk omdat veldonderzoek de nodige problemen met zich mee brengt:

- beproeving van veel zandsoorten is praktisch bezwaarlijk en kostbaar
- in de praktijk is moeilijk waar te nemen of het water vertraagd uit het mengsel stroomt
- bij laboratoriumproeven kan elke proef onder dezelfde constante omstandigheden uitgevoerd worden

Het veldonderzoek is dan ook voornamelijk bedoeld, om de resultaten van het laboratoriumonderzoek te toetsen in de praktijk.

Alle meetgegevens van zowel het laboratorium- als veldonderzoek zijn in hoofdstuk 5 verwerkt en gevisualiseerd. Tevens worden de resultaten geanalyseerd en geïnterpreteerd.

Hierna volgen in hoofdstuk 6 de eindconclusies en aanbevelingen.



## Hoofdstuk 2

# Literatuurstudie

### 2.1 Inleiding

In de baggerindustrie is al veel onderzoek gedaan naar beunbezinkprocessen. Bij dit literatuuronderzoek wordt nagegaan of deze onderzoeken al melding maken van insluiting van water tijdens en na snelle depositie.

Daarnaast is er op gelet of met de verschillende modellen en methoden het poriënvolume nauwkeurig kan worden berekend.

Het onderzoek is opgesplitst in vier delen. Eerst worden enkele basisbegrippen en resultaten van onderzoeken naar verschillende parameters van natuurlijke kwartszanden behandeld. Daarna worden diverse in situ methoden beschouwd ter bepaling van de dichtheid in de beun. Vervolgens worden beunbezinkmodellen beschreven en tenslotte wordt er een methode besproken, waarbij het laden van een hopperzuiger wordt vergeleken met een onderwaterstort.

### 2.2 Basisbegrippen

In de volgende subparagrafen worden begrippen en parameters behandeld die in dit afstudeerverslag regelmatig worden gebruikt.

#### 2.2.1 Korrelverdelingen

Een korrelverdelingsdiagram is een grafiek<sup>1</sup>, die informatie bevat over de korrelgrootte en de variatie in korrelgrootte van het beproefde zand. Uit deze korrelverdelingen, gemaakt volgens de norm NEN 2560, is een aantal parameters te bepalen:

- de gemiddelde korreldiameter
- de diameter van de mediane fractie volgens Führböter
- de korrelgradering

---

<sup>1</sup>Voor voorbeelden van een korrelverdeling, zie bijlage I

### Gemiddelde korreldiameter

De gemiddelde korreldiameter is eenvoudig af te lezen uit de grafiek. Deze korreldiameter is gelijk aan de  $d_{50}$ , dat wil zeggen; de denkbeeldige zeefopening waarop 50 massaprocenten van het zand bij zieving blijven liggen cq. doorstromen.

### De korreldiameter van de mediane fractie volgens Führböter

De diameter van de mediane fractie, of kortweg  $DMF$ , wordt veel gebruikt in de baggerindustrie.

$$DMF = \frac{d_{10} + d_{20} + d_{30} + d_{40} + d_{50} + d_{60} + d_{70} + d_{80} + d_{90}}{9}$$

### Korrelgradering

De korrelgradering wordt meestal uitgedrukt in een gelijkmatigheids- of uniformiteitscoëfficiënt  $C_u$ . Deze wordt met de volgende formule berekend:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Volgens NEN 5104 kan nu de waarde van de gradering nader worden omschreven zoals weergegeven in tabel 2.1.

$C_u$	gradering
< 1,8	zeer klein
1.8 – 2.2	matig klein
2.2 – 3.0	matig groot
> 3.0	zeer groot

Tabel 2.1: NEN 5104 omschrijvingen voor waarden van uniformiteitscoëfficiënt  $C_u$

Naast deze uniformiteitscoëfficiënt  $C_u$  wordt er ook vaak de krommingscoëfficiënt  $C_c$  in beschouwing genomen. Deze krommingscoëfficiënt maakt het mogelijk het verloop van de curve te omschrijven.

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

De curve heeft een vloeiend verloop indien de waarde van  $C_c$  tussen de 1 en 3 ligt.

### 2.2.2 Relatieve dichtheid

De relatieve dichtheid van een zandmengsel kan worden uitgedrukt als een functie van de maximale en de minimale dichtheid. De maximale dichtheid is de dichtheid van het zand bij het kleinste poriënvolume dat met behulp van de gedefiniëerde verdichtingsproef gerealiseerd kan worden. De minimale dichtheid is de dichtheid van het zand met het grootste poriënvolume, dat met behulp van de gedefiniëerde sedimentatieproef gerealiseerd kan worden.

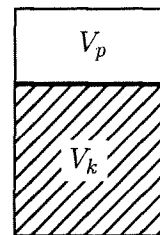
Het poriënvolume (Eng: porosity) of het poriëngetal (Eng: void ratio) wordt op de volgende manier berekend:

Poriënvolume:

$$n = \frac{V_p}{V_t}$$

Poriëngetal:

$$e = \frac{V_p}{V_k}$$



$V_p$	Volume poriën
$V_k$	Volume korrels
$V_t$	Volume totaal ( $V_p + V_k$ )

Het poriënvolume wordt vooral gebruikt in Nederland, Duitsland en andere Europese landen en het poriëngetal in Engelstalige landen.

De relatieve dichtheid is op twee manieren te definiëren, namelijk op basis van poriënvolume  $n$  of op basis van het poriëngetal  $e$ . Beide vergelijkingen zijn ook uit te drukken op basis van dichtheden.

$$D_r(\%) = \frac{n_{max} - n_{situ}}{n_{max} - n_{min}} \times 100\% = \frac{\rho_{situ} - \rho_{min}}{\rho_{max} - \rho_{min}} \times 100\%$$

$$I_d(\%) = \frac{e_{max} - e_{situ}}{e_{max} - e_{min}} \times 100\% = \frac{\rho_{max}(\rho_{situ} - \rho_{min})}{\rho_{situ}(\rho_{max} - \rho_{min})} \times 100\%$$

In dit afstudeerverslag zal alleen gebruik gemaakt worden van de formule voor de  $D_r$ .

Om de relatieve dichtheid te kunnen berekenen zijn dus de minimale en maximale dichtheid noodzakelijk. Deze zullen in een laboratorium moeten worden bepaald. De proeven moeten aan de volgende eisen voldoen:

- de proeven moeten bij herhaling dezelfde uitkomst geven
- de proeven moeten leiden tot een zeer losse cq. zeer vaste pakking

- het monster mag tijdens de proef niet veranderen door bijvoorbeeld ontmenging of vergruizing van korrels
- de proeven moeten bij voorkeur snel, goedkoop en eenvoudig uitvoerbaar zijn

Voor de minimum dichtheid wordt vaak de zogenaamde stortproef gebruikt en voor de maximum dichtheid de trilverdichtingsproef. Aangezien in Nederland voor deze proeven geen officiële normen bestaan, wordt er vaak gebruik gemaakt van de Duitse DIN- of de Amerikaanse ASTM-normen. Verder hebben veel laboratoria hun eigen methode voor het bepalen van de minimum en maximum dichtheden.

Deze proeven mogen echter alleen worden gebruikt als het percentage van de fijne fractie ( $d < 63\mu m$ ) kleiner is dan 10 à 12 massaprocenten. Wordt het massa-aandeel van deze fractie groter, dan zal bij korrelig materiaal ontmenging optreden; bij aanwezigheid van cohesief materiaal kunnen de proeven in het geheel niet worden gebruikt.

### 2.2.3 Het begrip "hindered settlement"

Bij het bezinken van korrels in water dient onderscheid te worden gemaakt tussen de valsnelheid van een enkele korrel en een grote groep korrels. De valsnelheid van één enkele korrel is in principe ongestoord en bij een groep korrels is er sprake van onderlinge beïnvloeding. In dat geval is er sprake van "hindered settlement".

Van een enkele korrel is met behulp van de volgende formule eenvoudig de ongestoorde valsnelheid uit te rekenen.

$$w_0 = \sqrt{\frac{4g \cdot \Delta \cdot d \cdot \Psi}{3 C_D}}$$

$C_D$	=	sleeppoëfficiënt	$[-]$
$d$	=	korreldiameter	$[m]$
$g$	=	zwaartekrachtversnelling	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$w_0$	=	ongestoorde valsnelheid	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$\Delta$	=	$\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$	$[-]$
$\rho_s$	=	dichtheid korrel	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$\rho_w$	=	dichtheid water	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$\Psi$	=	vormfactor, bij zand geldt: $\Psi \simeq 0.7$	$[-]$

De sleeppoëfficiënt  $C_D$  is afhankelijk van het Reynoldsgetal, gedefinieerd als:  $Re = \frac{w_0 \cdot d}{\nu}$ , waarin  $\nu$  de kinematische viscositeit is.

Bij bezinken zijn drie gebieden te onderscheiden, namelijk een laminair en een turbulent gebied met daartussen een overgangsgebied. De grenzen liggen bij een Reynoldsgetal van 1 respectievelijk 2000. Dit komt overeen met een korreldiameter van 0.1 respectievelijk 4 millimeter. De grootte van de sleeppoëfficiënt  $C_D$  is nu te bepalen met behulp van tabel 2.2.

Indien bij bezinken van korrels in water de volumeconcentratie  $C$  van de zandkorrels toeneemt, wordt de bezinksnelheid van de groep korrels lager dan de ongestoorde valsnelheid

Gebied	$d$ [mm]	$C_D$ [-]
laminair	$d < 0.1$	$\frac{24}{Re}$
overgang	$0.1 < d < 4$	$\frac{24}{Re} + \frac{10}{\sqrt{Re}} + 0.34$
turbulent	$d > 4$	0.4

Tabel 2.2:  $C_D$ -waarden in het laminaire en turbulente gebied met overgangsgebied

van één korrel. De valsnelheid bij deze "hindered settlement" bedraagt:

$$w_s = w_0 \cdot (1 - C)^{1.5}$$

In de praktijk blijkt dat de werkelijke valsnelheid nog lager is dan berekend met behulp van deze functie. De machtsfactor 1.5 in de formule is te groot.

Een veel gebruikte empirische relatie in dit verband is afkomstig van Richardson en Zaki, zoals gerapporteerd door Wijnant[1992]. De voorgaande formule wordt dan als volgt herschreven:

$$w_s = w_0 \cdot (1 - C)^m$$

Volgens deze onderzoekers bestaat er een verband tussen de macht  $m$  en het Reynoldsgetal  $Re$ , als aangegeven in tabel 2.3.

$Re$ [-]	$m$ [-]
$Re < 0.2$	4.65
$0.2 < Re < 1$	$4.35 \cdot Re^{-0.03}$
$1 < Re < 200$	$4.45 \cdot Re^{-0.1}$
$Re > 200$	2.39

Tabel 2.3: Relatie tussen  $Re$  en  $m$  volgens Richardson en Zaki

## 2.3 Eigenschappen van natuurlijke zanden

In deze paragraaf zal vooral een groot aantal kwartzzanden worden behandeld. In het laboratorium zijn voor dit onderzoek voornamelijk fijne zandsoorten ( $DMF < 500\mu m$ ) getest. Daarmee kan slechts een deel van de grafiek worden geverifieerd. Daarom is in de literatuur gezocht naar aanvullend informatie over grovere natuurlijke zanden en grindzanden, teneinde

een volledige verificatie van de grafiek mogelijk te maken.

### 2.3.1 De relatie tussen $DMF$ en ongelijkmatigheidscoëfficiënt $C_u$

Floss[1970] heeft 76 natuurlijke zanden beproefd, waarvan 45 kwartszanden. Deze zanden hebben een  $d_{50}$  variërend tussen de  $490\mu m$  en de  $5500\mu m$ .

Naast de  $d_{50}$  zijn er nog een aantal andere parameters bepaald, zoals de ongelijkmatigheidscoëfficiënt  $C_u$  en de gemiddelde korreldiameter  $d_g$ , die veel lijkt op de parameter de  $DMF$ , maar op een iets andere manier wordt berekend.

De  $DMF$  wordt bepaald door in de grafiek van de zeefkromme de  $d_{10}$ ,  $d_{20}$ , ...en  $d_{90}$  af te lezen en deze in te vullen in de formule:

$$DMF = \frac{d_{10} + d_{20} + d_{30} + d_{40} + d_{50} + d_{60} + d_{70} + d_{80} + d_{90}}{9}$$

Voor het berekenen van de  $DMF$  worden dus altijd 9 waarden gebruikt.

De  $d_g$  wordt berekend met behulp van de gebruikte zeefserie. Naarmate er meer zeven voor de zeefproef zijn gebruikt, worden er meer waarden ingevuld in de onderstaande vergelijking:

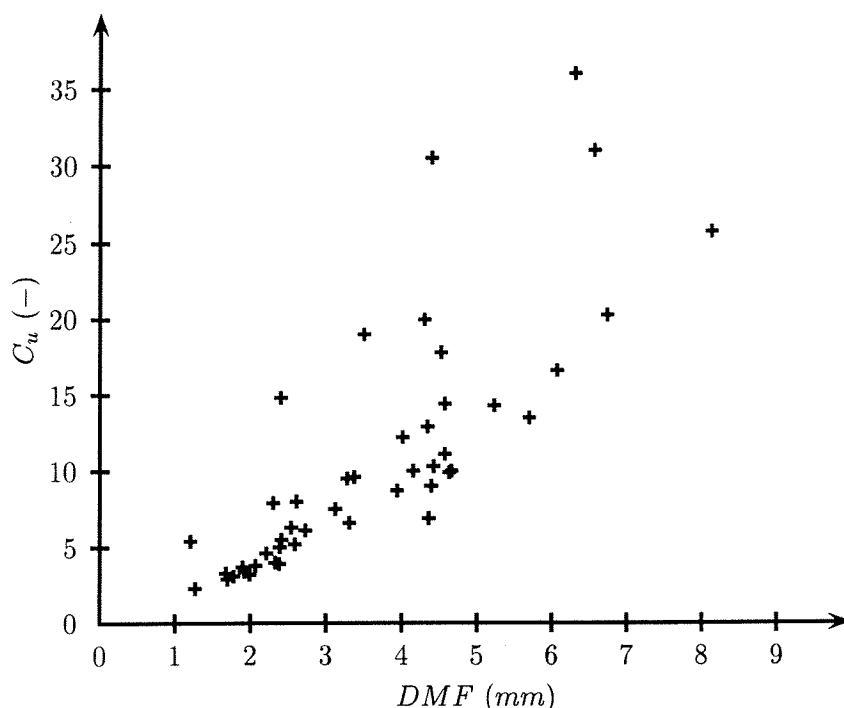
$$d_g = \frac{\sum(m \cdot d')}{\sum m}$$

$d'$  gemiddelde van de zeefopeningen van twee opeenvolgende zeven  
 $m$  massa op een denkbeeldige zeef met opening  $d'$

Aangezien de beide parameters met behulp van de uitkomsten van dezelfde proef worden berekend is het verschil tussen de waarde van  $DMF$  en  $d_g$  erg klein. Met behulp van de beschikbare zeefseries is dit gecontroleerd, zie tabel 2.4. Het is dus mogelijk de gemiddelde korreldiameter  $d_g$  als  $DMF$  uit te zetten tegen de  $C_u$ . Dat levert de grafiek 2.1 op, die aansluit bij de grafiek voor de relatief fijne zanden van dit onderzoek.

zandnummer	$DMF$ [ $\mu m$ ]	$d_g$ [ $\mu m$ ]	procentueel verschil [%]
1	238	236	-0.8
2	210	208	-1.0
3	156	156	0.0
4	198	208	5.1
5	406	412	1.5
7	332	359	8.1
10	183	192	4.9
13	235	240	2.1
14	775	810	4.5
Alpha Bay	219	226	3.2

Tabel 2.4: Verschil tussen  $DMF$  en  $d_g$

Figuur 2.1:  $DMF-C_u$  van kwartzand

### 2.3.2 De relatie tussen ongelijkmatigheidscoëfficiënt en minimum- en maximumporiënvolume

Youd[1973] heeft veel metingen op zanden gedaan en uiteindelijk een grafiek opgesteld, waarbij de  $C_u$  uitgezet is tegen de minimum en maximum dichtheid, zie figuur 2.2. De waarden in de grafiek hangen tevens af van de korrelvorm die gekarakteriseerd is door middel van de parameter  $R$ , welke de korrelvorm/oppervlakteruwheid volgens Powers representeert. Een soortgelijke grafiek is door Bezemer en Slagboom[1981] samengesteld op basis van de korrelvorm-parameter  $VVS$ , zie figuur 2.3.

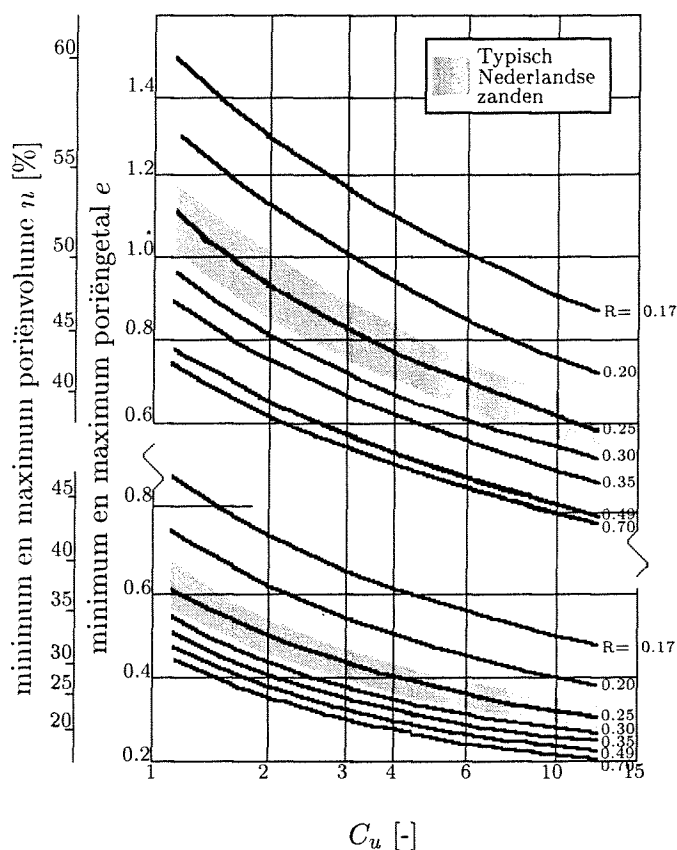
### 2.3.3 Proctordichtheden

Er zijn veel manieren om een extreme dichtheid te bepalen. Een veel gebruikte beproevingsmethode voor de bepaling van een maximum dichtheid is de zogenaamde Proctorproef.

In een standaardcilinder wordt de grond laagsgewijs verdicht door een bepaalde massa een vast aantal malen van een standaard hoogte te laten vallen op het monster. Per laag wordt daardoor dezelfde hoeveelheid energie toegevoegd. Door de proef uit te voeren in een serie met oplopend vochtgehalte wordt een aantal droge-dichtheids waarden gevonden. De curve door de geplote droge-dichtheids waarden is de Proctorcurve.

Deze curve vertoont een parabolisch verloop, waarbij de top van de parabool is gedefinieerd als de maximum Proctordichtheid  $\rho_{pr}$ .

De proef is ontwikkeld in de jaren dertig. Toen later veel zwaardere machines werden gebruikt,

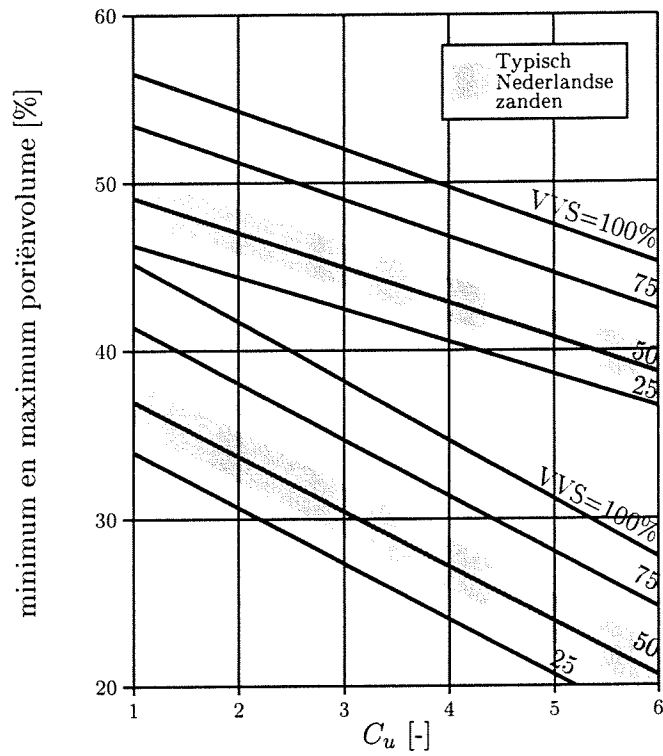


Figuur 2.2: Minimum en maximum poriënvolumen als functie van  $C_u$  en  $R$

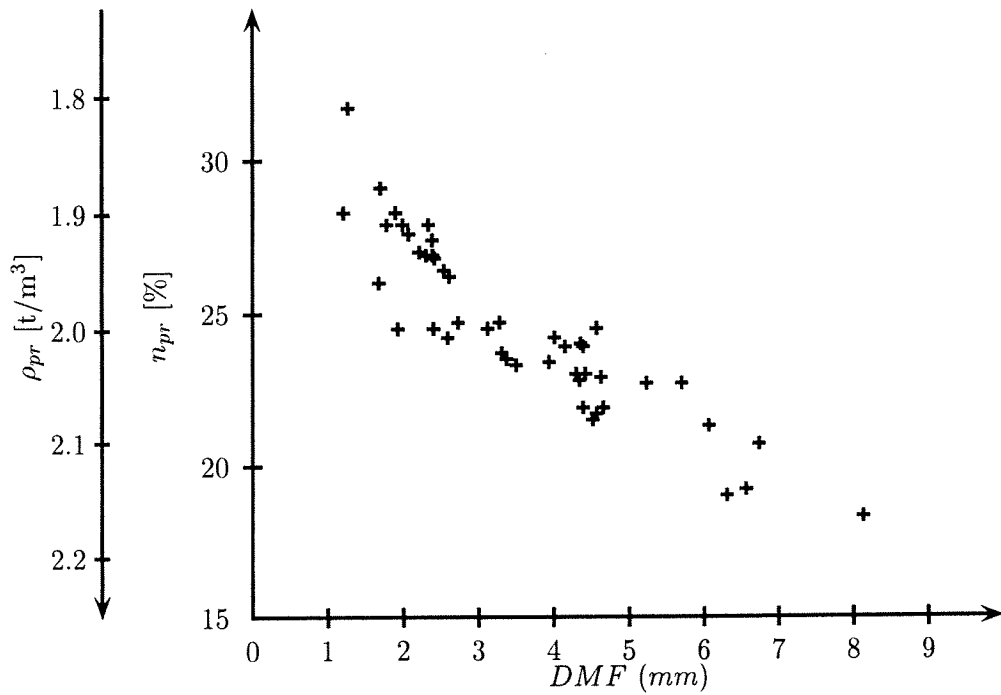
bleek een hogere maximale referentiedichtheid gewenst. Dit werd bereikt door de Proctorproef met een zwaardere stamper, een hogere valhoogte en meer slagen per laag uit te voeren en zo per volume eenheid 4.5 keer zoveel energie toe te voegen. Dit wordt de Verzwaaarde Proctorproef genoemd en levert een Verzwaaarde maximum-Proctordichtheid  $\rho_{Vpr}$  op. De verschillen in uitkomsten tussen de normale en de verzwaaarde Proctorproeven zijn veelvuldig onderzocht. Globaal kan worden gesteld dat de normale Proctordichtheid voor zand overeenkomt met de 95% van de Verzwaaarde Proctordichtheid:  $\rho_{pr} = 0.95 \cdot \rho_{Vpr}$ .

Om de relatie tussen de grofheid en maximum dichtheid vast te stellen is van de door Floss[1970] verzamelde gegevens de maximum Proctordichtheid  $n_{pr}$  uitgezet tegen de  $DMF$ , zie figuur 2.4. Verder zijn de gegevens van Floss omgerekend naar Verzwaaarde maximum Proctordichtheid en vervolgens geplott in figuur 2.5, waar de Verzwaaarde maximum Proctordichtheid is uitgezet tegen de ongelijkmatigheidscoëfficiënt  $C_u$ . In deze grafiek zijn ook gegevens van andere onderzoekers opgenomen.

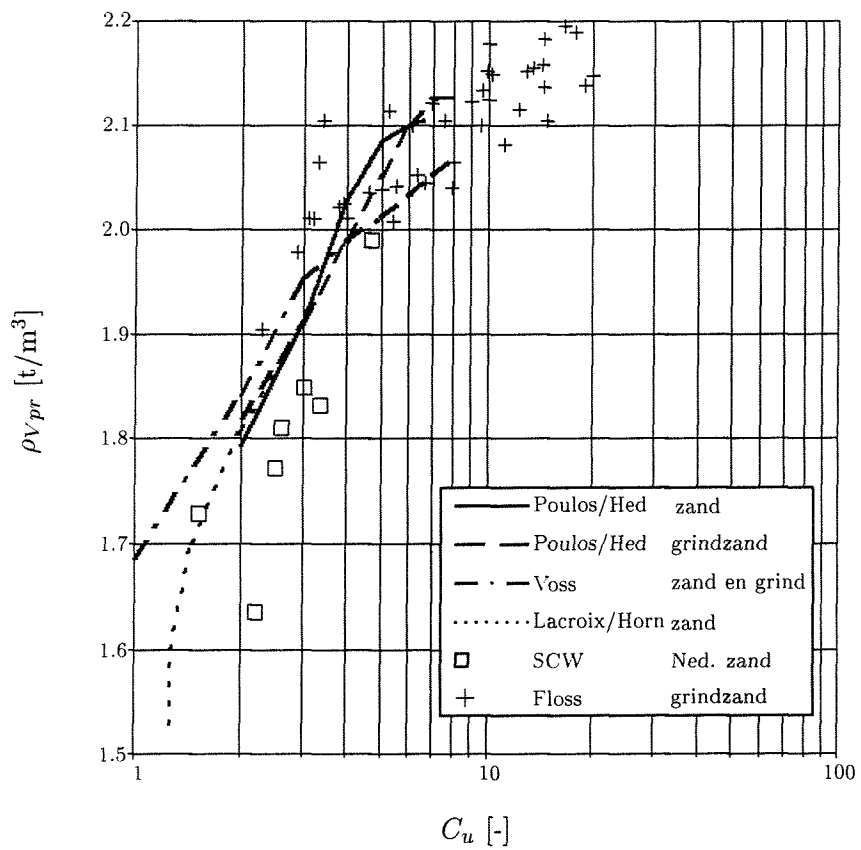




Figuur 2.3: Minimum en maximum poriënvolume als functie van  $C_u$  en  $VVS$



Figuur 2.4: Relatie  $DMF$ - $n_{pr}$  voor kwartzanden



Figuur 2.5: Verzwaarde maximum roctordichtheid als functie van  $C_u$

## 2.4 Bepaling van dichtheid aan boord van baggerschepen

Voor de bepaling van de in situ dichtheden van zand zijn vele methoden beschikbaar. De meeste daarvan zijn ook zonder meer toepasbaar om dichtheid van het zand in de beun van baggerschepen vast te stellen. Er wordt in dit rapport vooral gekeken naar het toepassen van die verschillende meetmethodes aan boord. Allereerst moet worden bepaald of de methode kan worden toegepast en daarna of deze nauwkeurige resultaten oplevert.

### 2.4.1 Toepassing in situ meetmethoden

#### Methode

Er zijn verschillende methoden om een in situ dichtheidsmeting uit te voeren, zoals:

- oppervlaktemeting
  - steekringmeting
  - CMC meting
  - rubberballonmeting
  - zandvervangingsmeting
  - nucleaire dichtheidsmeting
- dieptemeting
  - elektrische dichtheidsmeting
  - nucleaire dichtheidsmeting
- dieptemeting 'indirect'
  - (hand)sondering

In de NEN- en DIN-normen, maar ook in andere normen, zijn complete omschrijvingen van oppervlakte meetmethoden opgenomen.

Alle genoemde methoden zijn moeilijk uitvoerbaar en onder bepaalde omstandigheden zelfs onmogelijk. Indien de metingen onder de (grond)waterspiegel moeten worden gedaan zijn alle oppervlakte meetmethoden niet toepasbaar. Soms is ook het oppervlak van de zandlading onbereikbaar, bijvoorbeeld als het schip een gesloten beun heeft. Verder is voor de nucleaire dichtheidsmeting gecertificeerd personeel noodzakelijk, wat lang niet altijd beschikbaar is.

#### Nauwkeurigheid

Om nauwkeurige meetresultaten te verkrijgen moeten de metingen zeer zorgvuldig worden uitgevoerd. Dit is vaak niet gemakkelijk op een bewegend schip. De handsondering is wel eenvoudig uit te voeren, maar levert geen dichtheidswaarden op. De weerstand die de conus ondervindt kan echter wel met behulp van een correlatie worden omgerekend naar dichtheden; de sondering is een zogenaamde indirecte methode.

Verder kan de grote hoeveelheid staal in de omgeving van de meting, in verhouding tot normale veldmetingen, bij de nucleaire en elektrische metingen problemen opleveren.

#### Conclusie

In situ meetmethoden ter bepaling van dichtheden zijn moeilijk toe te passen en/of leveren onbetrouwbare resultaten op.

## 2.4.2 Toepassing Tonnen Droge Stof systeem (T.D.S.)

### Methode

Het T.D.S. systeem is een methode voor het bepalen van de dichtheid die eigenlijk is ontwikkeld voor modder. Na het laden van de modder wordt het verschil in waterverplaatsing van het lege en het volle baggerschip bepaald. Het verschil in waterverplaatsing komt overeen met het gewicht van de lading ( $G_l$ ). Omdat het beunvolume ( $V_b$ ) tot aan de overvloed bekend en het oppervlak van de dikke vloeistof horizontaal is, kan eenvoudig de dichtheid van de lading ( $\rho_l$ ) worden uitgerekend:  $\rho_l = \frac{G_l}{V_b}$ .

Dit systeem kan ook worden toegepast, indien de lading uit zand bestaat. Het gewicht van de lading wordt op dezelfde manier bepaald als bij een lading bestaande uit modder. Hierna moet de hoogte van de zandlading worden gepeild, omdat het zand meestal geen horizontaal oppervlak heeft. Dit peilen gebeurt meestal handmatig. Dit is noodzakelijk, omdat op de zandlading vaak ook nog een laag water staat. Bij zand is dus het volume van de lading niet, zoals bij modder, gelijk aan het volume van de beun. Met de gegevens, verzameld door middel van de peilingen, wordt het volume van het zand ( $V_z$ ) berekend. Door dit berekende volume af te trekken van het totale beunvolume ( $V_b$ ) is tevens het volume van het water ( $V_w$ ) op de lading bekend.

Nu kan het gewicht van het zand worden berekend:  $\rho_z = \frac{G_l - V_w \cdot \rho_w}{V_z}$

Als laatste kan nu eenvoudig het poriënvolume ( $\rho_z = n \cdot \rho_w + (1 - n) \cdot \rho_s$ ) en de relatieve dichtheid worden berekend.

### Nauwkeurigheid

De bepaling van de waterverplaatsing is relatief nauwkeurig. Het peilen van de hoogte levert echter een grote onnauwkeurigheid op. Aangezien het oppervlak van de lading zelden mooi vlak is en regelmatig zelfs gedeeltelijk boven het water uitsteekt, is het moeilijk het volume nauwkeurig vast te stellen. Kleine meetfouten in zowel het ladinggewicht als zandvolume hebben grote gevolgen voor het berekende poriënvolume van de lading. Omdat bij zand het verschil tussen de minimum en maximum dichtheid gering is, heeft een kleine meetfout tevens grote invloed op de uiteindelijk berekende relatieve dichtheid.

### Conclusie

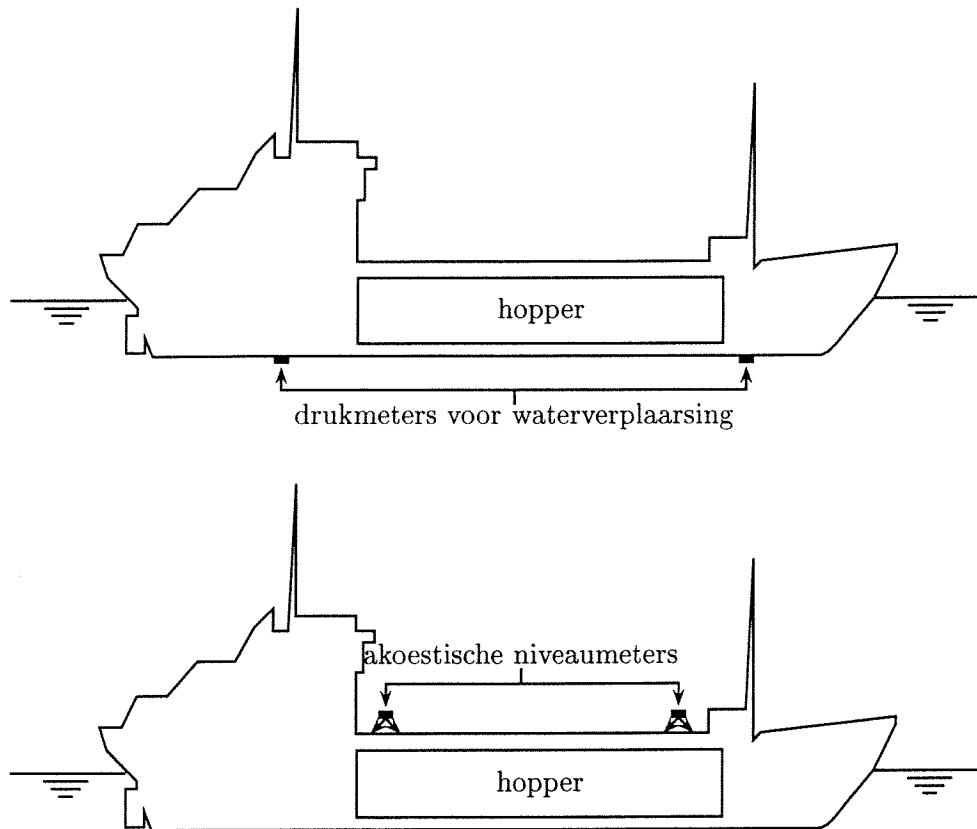
De T.D.S. methode levert bij een lading bestaande uit zand onnauwkeurige (relatieve) dichtheden op. Bij een kleine fout in de peiling treedt er een grote fout bij het berekenen van de relatieve dichtheid op. Dit is ook geconcludeerd door Veldhuis[1992].

Er wordt echter al een verbeterd systeem toegepast. Bij dit systeem wordt er gebruik gemaakt van akoestische niveaumeters om te peilen hoe hoog het zandniveau in de hopper is. Zie figuur 2.6. Of dit systeem grote verbeteringen brengt in de nauwkeurigheid, is nog onbekend.

## 2.5 Beunbezinkmodellen

Er zijn in Nederland diverse beunbezinkmodellen ontwikkeld om het laadproces van een hopperzuiger te optimaliseren. Het gaat om de volgende modellen:

- ideaal bezinkbakmodel volgens Camp[1970] met een uitbreiding volgens Yagi[1970] en Miedema[1981]



Figuur 2.6: Verbeterd T.D.S. systeem

- model volgens Groot[1981]
- dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning[1977]
- drielagenmodel volgens Mastbergen[1988]
- stortmodel volgens Theijse[1990]

De eerste twee modellen houden geen rekening met het optreden van dichtheidsstromen en de drie laatste wel.

Bij het bestuderen van de verschillende beunbezinkmodellen is er gekeken naar de in- en uitvoerparameters en de nauwkeurigheid van het model. Het gaat hierbij vooral om de vraag of het poriënvolume  $n$  een in- of uitvoerparameter is. Wanneer het poriënvolume een uitvoerparameter is, dan is het model bruikbaar. Alleen in dat geval is het mogelijk met het model het uiteindelijke poriënvolume van de zandlading uit te rekenen.

Voor complete omschrijvingen van de modellen wordt verwezen naar de publicatie van Wijnant[1992].

### 2.5.1 Het ideale bezinkbakmodel

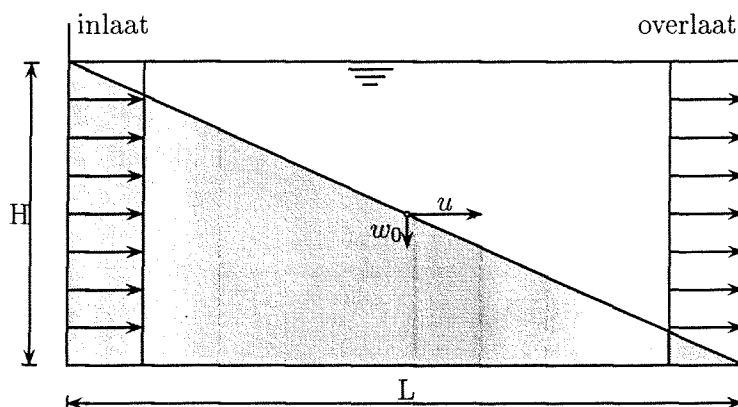
#### De ideale bezinkbak volgens Camp[1970]

##### Methode

De beun wordt door Camp beschouwd als een open kanaal (met afmetingen  $L \cdot B \cdot H$ ) waardoor het zandwatermengsel horizontaal stroomt met een snelheid, die uniform verdeeld is over de hoogte en breedte. Zie figuur 2.7.

De korrels bewegen zich rechtlijnig door de bak. De afgelegde weg van de korrel wordt bepaald door de valsnelheid  $w_0$  en de stroomsnelheid  $u$ . De stroomsnelheid  $u$  is voor elke korrel gelijk, terwijl de valsnelheid  $w_0$  afhankelijk is van de korreldiameter  $d$ .

In figuur 2.7 is de afgelegde weg van een korrel getekend, waarbij de korrel nog in de beun bezinkt. Indien de verblijftijd van een korrel in de beun langer is dan de bezinktijd, kan er volledige bezinking optreden. Dit geldt voor het grijs gekleurde gebied. De verblijftijd van een korrel hangt af van de effectieve lengte van de beun, dat wil zeggen de afstand van inlaat tot overlaat.



Figuur 2.7: Bezinkbakmodel volgens Camp

##### Nauwkeurigheid

Dit model laat erosie van reeds bezonken zand, optredende 'hindered settlement' en de invloed van de korrelverdeling buiten beschouwing. Dit geldt ook voor de toename van de stroomsnelheid bij verkleining van het doorstroomprofiel door de optredende sedimentatie.

##### Conclusie

Met dit model is eigenlijk alleen te bepalen of één enkele korrel met een diameter  $d$  in de beun kan bezinken bij een gegeven effectieve lengte en snelheid.

Het model levert geen informatie op over de toestand van het bezonken zand. Dit model kan dus niet worden gebruikt om het poriënvolume van de zandlading uit te rekenen.

### **Uitbreiding volgens Yagi[1970]**

#### Methode

Aan het ideale-bezinkmodel van Camp heeft Yagi alleen toegevoegd, dat het doorstroomprofiel vanwege de sedimentatie afneemt en dat turbulente stroming optreedt.

#### Nauwkeurigheid

Ook in dit model blijven fenomenen als de erosie van reeds bezonken zand, 'hindered settlement' en het tegelijk bezinken van korrels met verschillende diameters buiten beschouwing.

#### Conclusie

Met dit model is grofweg het bezinkrendement uit te rekenen, indien de toename van de stroomsnelheid  $u$  door afname van het doorstroomprofiel nauwkeurig is te bepalen.

Dit model levert geen informatie over het poriënvolume  $n$  van het zandpakket.

### **Uitbreiding volgens Miedema[1981]**

#### Methode

Het ideale bezinkmodel van Camp is ook uitgebreid door Miedema. Het model is geschikt gemaakt voor toepassing van zand, bestaande uit korrels met verschillende diameters; er kan dus een korrelverdeling worden ingevoerd waarbij de korrelverdelingscurve wordt benaderd door een rechte lijn.

Miedema stelt de hoeveelheid zand die per tijdseenheid in de hopper sedimenteert gelijk aan de hoeveelheid zand die wordt aangevoerd verminderd met de hoeveelheid zand die de beun weer via de overstort verlaat. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de lading gelijkmatig over het hopperoppervlak wordt verdeeld.

Eén van de invoerparameters van dit model is het poriënvolume van het bezonken zand.

#### Nauwkeurigheid

Ook voor dit model geldt dat er geen rekening wordt gehouden met de erosie van reeds bezonken zand en optredende 'hindered settlement'. Tevens blijft de toename van de stroomsnelheid bij verkleining van het doorstroomprofiel door de optredende sedimentatie buiten beschouwing. De korrelverdeling wordt wel meegenomen, waarbij de korrelverdelingscurve wordt benaderd door een rechte lijn.

#### Conclusie

Aangezien één van de invoerparameters het poriënvolume van de zandlading is, kan dit model niet gebruikt worden om deze parameter te berekenen.

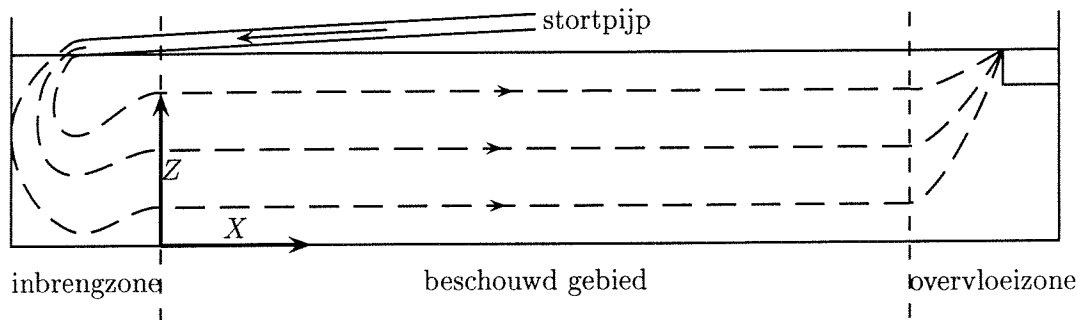
## **2.5.2 Het beunbezinkmodel volgens Groot [1981]**

#### Methode

Bij het opstellen van het wiskundige beunbezinkmodel heeft Groot de volgende aannames

gedaan:

- in de hopper bevindt zich tussen de inbrengzone (ZONE 1) en de overvloeizone (ZONE 3) een relatief ongestoorde gebied (ZONE 2), waarin de stroming gelijkmatig over de breedte en hoogte is verdeeld; zie figuur 2.8
- het model is een quasi-stationair systeem; de tijdstappen zijn zodanig gekozen dat de bodemstijging in dit interval niet van invloed is op de stroming
- alleen snelheidscomponenten in de x-richting worden beschouwd; in de andere richtingen is de gemiddelde stroomsnelheid gelijk aan 0



Figuur 2.8: Bezinkmodel volgens Groot

Het model is gebaseerd op een continuïteitsvergelijking van de sedimentatie van zand:

$$\bar{u} \frac{\delta C}{\delta x} - \frac{\delta(w_s \cdot C)}{\delta z} - \frac{\delta}{\delta z} \left( \epsilon \frac{\delta C}{\delta z} \right) = 0$$

waarin de functies:

$C$	zandconcentratie
$\bar{u} = f(z)$	bijvoorbeeld een logaritmisch snelheidsprofiel
$w_s = f(C)$	hindered settlement b.v. volgens Richardson en Zaki gerepresenteerd
$\epsilon = f(x, z)$	turbulente diffusie coëfficiënt, gekoppeld aan energie inbreng en bodemruwheden

Deze vergelijking is, gegeven de begin- en randvoorwaarden, numeriek op te lossen met behulp van een eindige-elementenmethode met de volgende in- en uitvoerparameters:

Invoer:

- hoppergeometrie (lengte, breedte en hoogte)
- energieinbreng (uittreesnelheid van de inlaat en hoogte van de inlaat boven de water-spiegel)
- mengselparameters ( $d_{50}$ , relatieve dichtheid en debiet)
- eigenschappen van het gesedimenteerde zandbed (ruwheid van het zandoppervlak en poriënvolume)
- programmaparameters (tijdsduur, tijdstap, snelheidsprofiel, beginconcentratie en stapgrootte in  $x$  en  $z$  richting)
- randvoorwaarden
  - bovenrand; netto zandtransport = 0



- onderrand; bij sedimentatie  $\frac{\delta C}{\delta z} = 0$ , bij erosie  $C_{bodem} = C_{evenwicht}$
- beginvoorwaarde; keuze concentratievertikaal

Uitvoer:

- concentratieverdeling in de verschillende zones
- fractie van het sediment dat in de overvloeizone nog in suspensie is; overvloeiverliezen
- bodemstijging gedurende een tijdstap en uiteindelijk bodemprofiel

#### Nauwkeurigheid

Het model levert goede resultaten. Het is gevoelig voor de gebruikte formule voor 'hindered settlement'. Er wordt aan de formule van Richardson en Zaki de voorkeur gegeven. Ook de toegepaste randvoorwaarde op de bodem heeft grote invloed op de uitkomsten. Alleen bij gebruik van de bodemrandvoorwaarde  $\frac{\delta C}{\delta z} = 0$  komen de uitkomsten van het numerieke model overeen met de uitkomsten van de door Groot gedane proeven.

#### Conclusie

Het poriënvolume is ook bij het model volgens Groot een invoerparameter; dit model kan dus ook niet gebruikt worden om het poriënvolume te voorspellen.

### 2.5.3 Dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning[1977]

#### Methode

In tegenstelling tot de 'ideale-bezinkbakmodellen' introduceerde De Koning een kwalitatief model waarin wel rekening gehouden wordt met door dichtheidsverschillen aangedreven dichtheidsstromen. De Koning verdeelt het laadproces van de beun in 3 fasen:

#### FASE 1

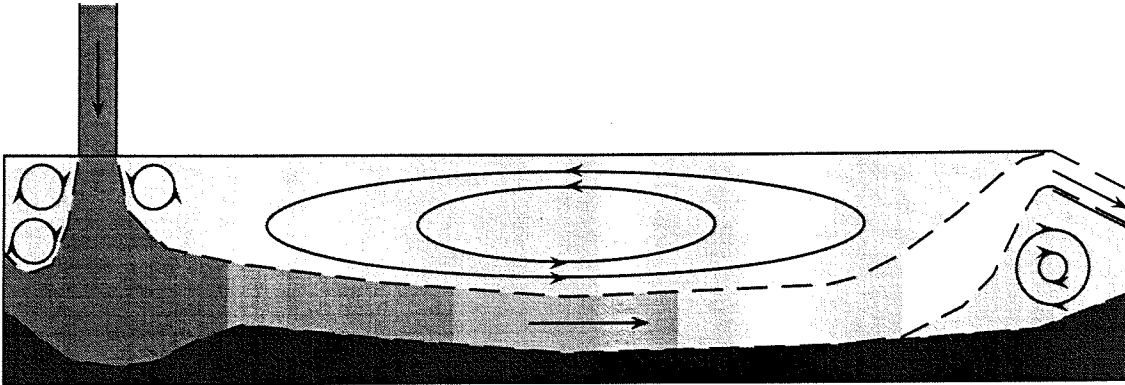
De beun is in eerste instantie leeg en wordt volgepompt met een zandwatermengsel. Het overvloeiverlies is in deze fase van het laadproces gelijk aan nul. Afhankelijk van de korrelgrootte zal een deel van de korrels bezinken en een ander deel in suspensie blijven.

#### FASE 2 (zie figuur 2.9 )

De volgende fase is de doorlaadfase. Het water heeft het overvloeiniveau bereikt en het overvloeiverlies neemt een bepaalde constante waarde aan. De in de beun gebrachte mengselstroom heeft een grotere dichtheid dan het al aanwezige water en neemt in zijn beweging water op uit de omgeving. Dit wordt entrainment genoemd. Bij het bereiken van het reeds bezonken sediment kan de mengselstraal afhankelijk van de laadmethode en het laadsysteem een ontgrondingskuil vormen. Op de bodem vormt zich een zogenaamde dichtheidsstroom: een laag met een relatief hoge concentratie (met dikte  $d$  en een horizontale snelheid die enkele malen groter is dan de snelheid van het water boven de dichtheidsstroom) die in de richting van de overstort stroomt. Als gevolg van entrainment en sedimentatie verdwijnt het verschil in dichtheid tussen dichtheidsstroom en omgeving en kan de stabiliteit van de dichtheidsstroom verdwijnen. Boven de dichtheidsstroom beweegt zich in tegengestelde richting een zogenaamde retourstroom met relatief lage concentratie.

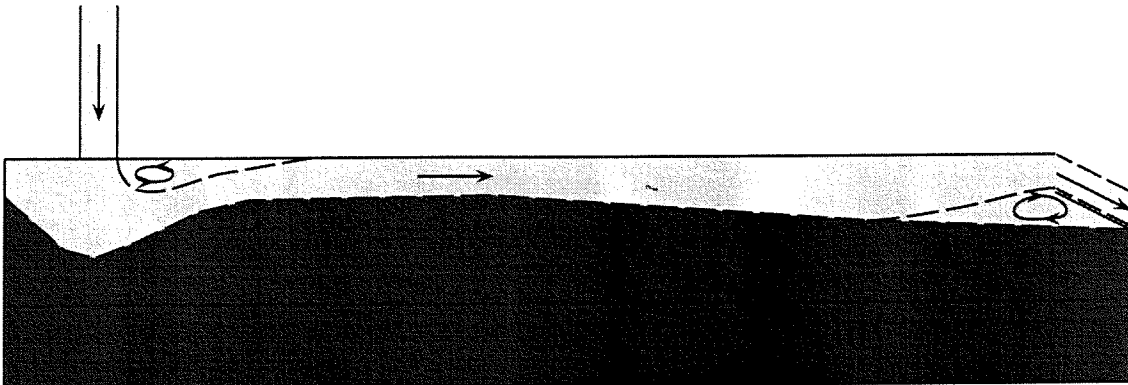
#### FASE 3 (zie figuur 2.10)

In de derde fase ontstaat, als gevolg van enerzijds de afgenomen waterhoogte boven het be-



Figuur 2.9: Fase 2 in het dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning

zonken bed en anderzijds de turbulentie bij de inlaat, een uniforme verdeling van het sediment over de waterhoogte. De snelheid waarmee de sedimentlaag over het bed beweegt neemt toe en de fijnere deeltjes in het bed kunnen door erosie wederom in suspensie raken. Uiteindelijk ontstaat een evenwichtssituatie waarbij er netto geen deeltjes meer bezinken en het overvloeiverlies 100% bedraagt.



Figuur 2.10: Fase 3 in het dichtheidsstromingenmodel volgens De Koning

#### Conclusie

Het model van De Koning is een kwalitatief model; het levert geen numerieke waarden op. Dit model is hier alleen opgenomen, omdat het in de volgende subparagraaf beschreven model van Mastbergen er op is gebaseerd.

#### 2.5.4 Drielagenmodel volgens Mastbergen[1988]

##### Methode

Het drielagenmodel volgens Mastbergen geeft op grond van een horizontaal gelaagd systeem een eenvoudige beschrijving van het hopperbeladingsproces in de tijd. Het beschrijft het verloop van het zandniveau in de beun als functie van de tijd bij een gegeven in- en uitgaand mengseldebiet, zandconcentratie of mengsel dichtheid van het instromend debiet en

korreldiameter of valsnelheid van het zand. De benadering met drie lagen is gebaseerd op de aanpak van De Koning (zie paragraaf 2.5.3) en wordt ondersteund door waarnemingen bij het bezinken van zandwatermengsels tijdens grootschalige stortproeven, waarbij sterke dichtheidsstromen werden waargenomen. De verticale menging door turbulentie wordt daardoor gedempt. Het bezinken blijkt onafhankelijk te zijn van de belading, dat wil zeggen van het volumedebiet van het instromend zandwatermengsel bij een gegeven concentratie van het zand. De bezinking wordt alleen bepaald door zandsoort, concentratie en beunoppervlak. Het zand dat niet bezinkt, blijft circuleren in de mengselstroming of leidt tot grote overvloeiverliezen.

Mastbergen heeft een eenvoudig model ontwikkeld, gebaseerd op het fysische sedimentatieproces en continuïteitsbeschouwingen, waarmee het verloop van het beladingsproces in de tijd kan worden gesimuleerd. Zo kunnen de volgende grootheden worden berekend als functie van het in- en uitstromend debiet, de mengseldichtheid en de zandsoort :

- de dikte van de drie lagen
- het totale beunvolume en het tonnage
- de laadtijd

Het model beschrijft echter niet de grootte van het overvloeiverlies, het geeft alleen aan vanaf welk moment grote overvloeiverliezen verwacht mogen worden.

Aangenomen wordt dat het zandwatermengsel als een dichtheidsstroming over het gehele beunoppervlak uitstroomt. Ook de bezinking is dus gelijkmatig verspreid over het gehele beunoppervlak.

Dit geldt alleen voor sterke dichtheidsstromingen. Er is dan een hoge zandconcentratie van minimaal 5% in het zandwatermengsel en de lengte van de beun is relatief kort ten opzichte van de sedimentatielengte.

Is deze situatie niet aanwezig, dan zal zich een 'stort' vormen, dat zich langzaam in de stroomrichting uitbreidt. Dan is wellicht de methode volgens Theijse bruikbaar. Hij heeft het beunbezinkingproces vergeleken met het storten van zand onder water. Zie hiervoor paragraaf 2.5.5.

Beschouw een blokvormig volume  $V$  met afmetingen  $L \cdot B \cdot H$ . Er wordt een mengsel gestort met een debiet  $Q_{in}$ , zandconcentratie  $C_{in}$  en een mengseldichtheid  $\rho_m$ . De beun wordt gevuld en nadat de overstortinrichting in werking treedt, ontstaat er een drie lagen systeem.

#### LAAG 1

De bodemlaag heeft een poriënvolume  $n$ , een dichtheid  $\rho_b = \rho_m = \rho_w \cdot [1 + \Delta \cdot (1 - n)]$  en een hoogte  $h_1$ , waarin:

$\rho_b$	dichtheid bodem
$\rho_w$	dichtheid water
$\Delta$	$\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$

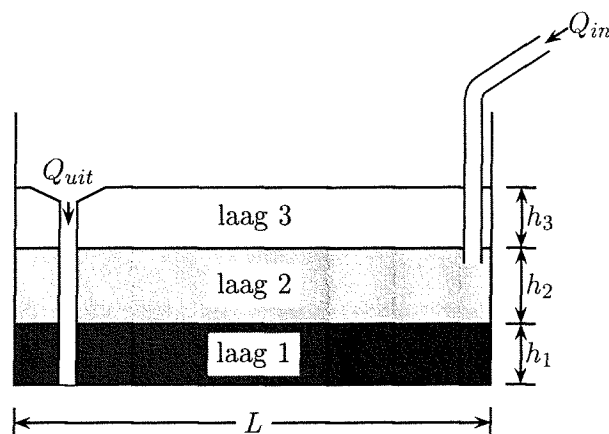
#### LAAG 2

De middelste laag bestaat uit het bezinkende zandwatermengsel met een concentratie  $C$ , een dichtheid  $\rho_m = \rho_w \cdot (1 + \Delta \cdot C)$  en een hoogte  $h_2$  met:

$C$  mengselconcentratie

LAAG 3

De top laag bestaat uit water zonder sediment, een dichtheid  $\rho_w$  en een hoogte  $h_3$ . Zie figuur 2.11.



Figuur 2.11: Drielaag model volgens Mastbergen

Zolang laag 2 het overstortniveau nog niet bereikt heeft, is er theoretisch nog geen sprake van overloeververliezen. Door het dichtheidsverschil tussen laag 2 en 3 wordt de turbulentie gedempt waardoor ook de uitwisseling tussen de lagen afneemt. In deze schematisering behoeft laag 2 niet in rust te zijn, maar kan bijvoorbeeld in enkele grote neren circuleren; turbulentie-diffusie wordt bij een concentratietoename in laag 3 niet in rekening gebracht. Het is ook duidelijk, dat grote overstortverliezen ontstaan wanneer laag 2 het niveau van de overstort bereikt.

Voor de totale massa water en zand in de beun geldt:

$$M_t = L \cdot B \cdot \rho_w \cdot (h_1 \cdot [1 + \Delta \cdot (1 - n)] + h_2 \cdot [1 + \Delta \cdot C] + h_3)$$

Dit model leidt tot de volgende oplossingen voor de laag-groei:

LAAG 1:

$$h_1 = w_s \cdot \frac{C}{1 - n} \cdot t$$

$$t_e = h_e \cdot \frac{1 - n}{w_s} \cdot C$$

$t$  laadtijd  
 $t_e$  eind tijd  
 $h_e$  eindwaarde  $h_1$  en is gelijk aan de uiteindelijke dikte van de gesedimenteerde

zandlaag.

Een groter instroomdebiet leidt nu niet meer tot een snellere laadtijd, omdat niet al het aangevoerde zand kan bezinken. Het is de bedoeling, dat de hopper volledig met gesedimenteerd zand gevuld wordt. Er kan eerder worden gestopt maar dit heeft tot gevolg, dat zich een zandwatermengsel-laag met een zeer groot poriënvolume ( $n = \pm 70\%$ ) in plaats van een zandpakket met een laag poriënvolume ( $n = \pm 40\%$ ) in de beun bevindt.

LAAG 2:

$$h_2 = \frac{Q_{in}}{A - w_s} \cdot t$$

waarin:

$Q_{in}$	aanvoer-debiet
$A$	oppervlak beun

Om overstortverliezen te voorkomen moet bij het voltooien van de belading, op tijdstip  $t_e$ , de laagdikte  $h_2$  gelijk aan 0 zijn.

LAAG 3:

$$h_3 = \left( w_s \cdot \frac{1 - n - C}{1 - n} - \frac{Q_{in} \cdot C + Q_{uit}}{A} \right) \cdot t$$

waarin:  $Q_{uit}$                       overstort-debiet

Met dit model zijn eenvoudig met behulp van een spreadsheet berekeningen uit te voeren, zonder dat er sprake is van numerieke instabiliteit.

#### Nauwkeurigheid

Hoewel de verticale diffusie in een beun sterk wordt gedempt, is deze waarschijnlijk niet verwaarloosbaar. In een vroeg stadium van belading treden immers al overvloeiverliezen op. Mastbergen heeft de verticale diffusie echter gelijk gesteld aan 0.

#### Conclusie

Het poriënvolume is een invoerparameter waardoor dit model ook weer ongeschikt is.

### 2.5.5 Stortmodel volgens Theijse[1990]

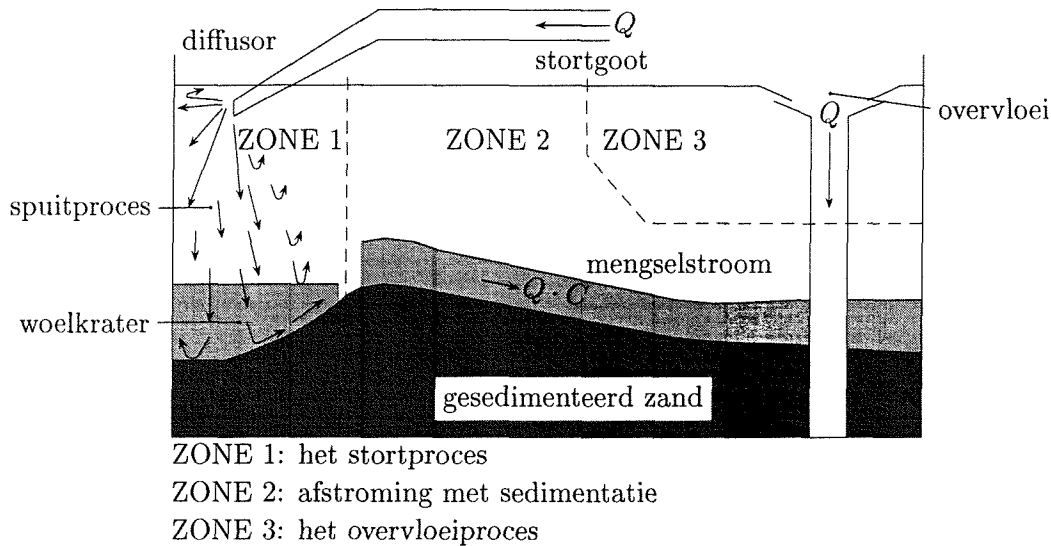
#### Methode

Theijse veronderstelt in zijn 'stortmodel' een analogie tussen het beunbezinkproces en de stortopbouw bij het deponeren van zand onder water. Hierbij worden de volgende processen onderscheiden:

- zone 1: stortproces
- zone 2: afstromings- en sedimentatieproces

- zone 3: overvloeiproces

Zie figuur 2.12.



Figuur 2.12: Bezinkmodel volgens Theijse

**ZONE 1**

Het valproces beschrijft de processen die tussen het punt van storten en de trefplaats optreden in de mengselstraal. Aangezien het gestorte mengsel een aanmerkelijke snelheid heeft ten opzichte van de omgevingsvloeistof kan het valproces beschreven worden met behulp van het zogenaamde straal- en pluimmechanisme.

Een straal en een pluim onderscheiden zich niet naar vorm maar naar aandrijfmechanisme. De impuls voor een straal wordt geleverd door de beginsnelheid waarmee het mengsel in de beun wordt gespoten, terwijl de impuls voor een pluim wordt geleverd door optredende dichtheidsverschillen. Er is sprake van een straal met aandrijving als beide mechanismen een rol spelen: dichtbij de spuitmond ontstaat straalgedrag en verderop pluimgedrag. Wordt de invloed van de wanden verwaarloosd (vrije straal met aandrijving) dan is een straal met aandrijving tot een vlakke of een ronde straal te schematiseren, afhankelijk van het laadsysteem.

**ZONE 2**

Het zandtransport tijdens het afstromingsproces in de beun vindt vanwege het optreden van grote specifieke debieten voornamelijk plaats in de vorm van suspensietransport. Dit in tegenstelling met een onderwaterstort, waar ook nog korrelstroompjes, zandwolken, mengselsprongen, zettingsvloeiingen en bresvormingen optreden. Deze mengselstroom gedraagt zich als een turbulente dichtheidsstroom met een vrij stabiel grensvlak, waarbij interne golven kunnen worden waargenomen. Vanuit deze dichtheidsstroom kunnen zandkorrels zowel sedimenteren als eroderen. Verder worden de zandkorrels door de interactie met turbulent stromend water in suspensie gehouden.

Bij deze analogie met een onderwaterstort wordt door Theijse echter de invloed van de beunwanden verwaarloosd, waardoor de modellering van de mengselstroom over het reeds gesedi-

menteerde zand in de beun sterk wordt vereenvoudigd.

### ZONE 3

Theijse wijst slechts op de mogelijkheid om het overvloeiproces vereenvoudigd te omschrijven, dat wil zeggen analoog met een bezinkbak met een overlaat in het eindschot.

#### Nauwkeurigheid

De invloed van de beunwanden op de verschillende processen is buiten beschouwing gelaten. Ook zijn de vergelijkingen gevoelig voor numerieke instabiliteit.

#### Conclusie

Ook met behulp van dit model zijn geen poriënvolumes te berekenen.

### 2.5.6 Conclusie beunbezinkmodellen

Ten eerste kan geconcludeerd worden, dat er nog geen beunbezinkmodel is geformuleerd, dat goed alle daarbij optredende processen beschrijft. Wel is het zo, dat het drielagenmodel tot nu toe de beste resultaten levert; het is bovendien eenvoudig in een spreadsheet te zetten. Hierbij moet worden aangemerkt, dat deze modellen voornamelijk zijn ontwikkeld om een economisch laadproces te creëren.

Overigens moet worden vastgesteld, dat de modellen geen poriënvolume  $n$  opleveren. Bij een aantal modellen is het zelfs een invoerparameter.

## 2.6 Onderwaterstort

Indien de eigenschappen van het te baggeren zand bekend zijn, is het misschien wel mogelijk om het poriënvolume en de relatieve dichtheid te voorspellen.

In het afstudeerverslag van Heezen, Van der Stap[1985] is een methode omschreven om tevoren de eigenschappen van een te realiseren onderwaterstort te berekenen.

Bij het onderzoek daarnaar is de manier van storten gevarieerd, zoals bijvoorbeeld sproeien en onderlossen. Deze processen zijn echter nog verder onder te verdelen. Bij onderzoeken naar dichtheden in de beun is alleen het sproeien of hydraulisch lossen van belang.

Bij hydraulisch lossen wordt er opnieuw een zandwatermengsel gemaakt, waarna de hopper wordt leeggepompt en het zandwatermengsel wordt gedumpt op een stort. In feite gebeurt er hetzelfde bij het vullen van een beun. Er wordt ook een zandwatermengsel gevormd dat wordt verpompt om in de beun te worden gestort.

Dit proces wordt hier nader toegelicht. De vraag is nu of een onderwaterstort vergelijkbaar is met een vullingsproces van de beun.

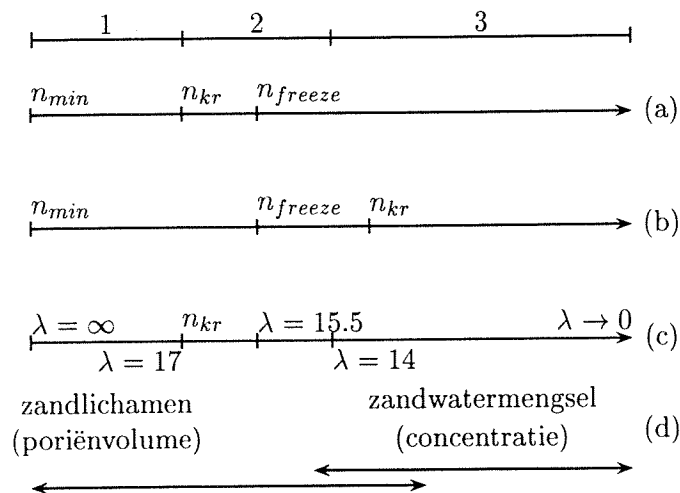
### 2.6.1 Berekening van de relatieve dichtheid van een onderwaterstort

Tijdens het spuiten van zand onder water glijden zandtongen als lawines naar beneden: dit proces wordt beschreven als een zogenaamde korreldispersie-stroming. Het blijkt dat deze laagjes zich gedragen als een vloeistof en zich zowel laminair als turbulent kunnen gedragen. Door de aanwezigheid van korrels heeft de samengestelde vloeistof andere eigenschappen dan de dragervloeistof alleen.

Er kunnen bij een onderwaterstort drie pakkingsdichtheden ontstaan:

- een onsamendrukbare en onvervormbare pakking; de minimum schuifspanning  $\tau_{min}$ , die noodzakelijk is voor vervorming, is erg groot
- een vervormbare pakking; indien een bepaalde  $\tau_{min}$  wordt overschreden gedraagt het zandpakket zich als een plastische vloeistof
- een vervormbare pakking die onmiddellijk vloeit als er een schuifspanning wordt aangebracht en zich gedraagt als een Newtonse vloeistof

Langs een helling gaat een uniforme stationaire stroming lopen. Deze stroming bevindt zich in een evenwichtstoestand bij een helling  $\beta$ . Verandert de helling, dan moet ook de stroming veranderen, wil het geheel in evenwicht blijven. Dit kan door water aan te zuigen of uit te persen, waardoor de concentratie verandert. Wanneer de hellingshoek  $\beta$  te klein wordt om de korrels die in hoge concentratie bij elkaar zitten, zwevend te houden, 'bevriest' de helling. Het poriënvolume van dit 'bevroren' laagje, wordt ook wel de  $n_{freeze}$  genoemd. Is  $n_{freeze}$  kleiner dan het kritische poriënvolume  $n_{kr}$  behorend bij de kritieke dichtheid, dan is het niet te verwachten dat liquefactie op zal treden. Is het echter andersom, dan is dit wel mogelijk. Zie figuur 2.13 (a) en (b).



Figuur 2.13: Zandcondities

De grenzen tussen deze verschillende situaties zijn bepaald met behulp van experimenten en kunnen beschreven worden met een lineaire concentratie  $\lambda$ . Deze is gedefinieerd als de gemid-



delde korreldiameter gedeeld door de vrije ruimte is gelijk aan:

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1 - n_{min}^{\frac{1}{3}}}{C} - 1}$$

waarin:  $C$  mengselconcentratie

De kritieke dichtheid is niet een enkelvoudig getal maar heeft een bepaalde bandbreedte. Bij zand zijn drie condities te onderscheiden: conditie 1 (zeer) vast gepakt, conditie 3 (zeer) los gepakt en de overgangs conditie 2.

Uit experimenteel onderzoek is gebleken dat in het algemeen bij  $\lambda = 17$  de grens ligt tussen conditie 1 en 2 en bij  $\lambda = 14$  de grens tussen 2 en 3. Er wordt de volgende relatie tussen de poriënvolume  $n$  en de minimale poriënvolume  $n_{min}$  gevonden:

$$n(\%) = 1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda + 1}\right)^3 \cdot (1 - n_{min}) \cdot 100\%$$

Wanneer de  $\lambda$  van het mengsel zich halverwege tussen  $\lambda_{1,2}$  en  $\lambda_{2,3}$  bevindt, dat wil zeggen bij  $\lambda = 15.5$ , lijkt het alsof het mengsel abrupt tot stilstand komt; Heezen en Van der Stap definiëren deze toestand als  $n_{freeze}$ .

Deze methode blijkt in de praktijk vrij goed te voldoen. Bij verschillende onderwaterstorten in de Deltawerken is dit getoetst. Zie tabel 2.5.

Project	$D_{50}$ ( $\mu m$ )	$n_{min}$ (%)	$n_{max}$ (%)	$n_{freeze}$ (%)	$n_{insitu}$ (%)	$D_{rt}$ (%)
Haringvliet	?	30	?	42,0	41 - 42	?
Damvak Geul	150 - 180	30	46	42,0	41 - 43	25 - 35
Europoort	200	32	48	43,6	41 - 43	35 - 50
Brouwersdam*	200 - 250	33	46	44,5	40 - 43	25 - 50
Tholense Gat	170 - 190	34	46	45,0	44	20 - 45

\* Er zijn meerder zandsoorten gebruikt, maar er is slechts één  $n_{min}$  en  $n_{max}$  bepaald.

Tabel 2.5: Poriënvolumen bij onderwaterstorten vergeleken met  $n_{freeze}$

### 2.6.2 Conclusie onderwaterstort

Zoals al eerder vermeld, heeft een onderwaterstort geen harde begrenzingen. De wanden van de beun kunnen een niet te verwaarlozen effect hebben op het eindresultaat.

Deze methode resulteerd echter wel in poriënvolumen na depositie.

## 2.7 Conclusie literatuurstudie

De verschillende insitu meetmethoden zijn in de praktijk niet te gebruiken. De T.D.S-methode kan wel gebruikt worden, maar levert onnauwkeurige resultaten op.

Er is nog geen beunbezinkmodel geformuleerd, dat een poriënvolume  $n$  oplevert. Bij een aantal modellen is het zelfs een invoerparameter. Deze beunbezinkmodellen zijn dus niet te gebruiken om het poriënvolume van het zandpakket te voorspellen.

Met de onderwaterstort-methode kan een poriënvolume van het gestorte zandpakket bepaald worden. Of deze methode van Heezen en Van der Stap kan worden toegepast op de stort processen in een beun is onduidelijk.

## Hoofdstuk 3

# Laboratoriumonderzoek

### 3.1 Inleiding

Er is gekozen voor een uitgebreid laboratoriumonderzoek boven een veldonderzoek om twee redenen.

Allereerst is het bij een laboratoriumonderzoek mogelijk om elke proef onder dezelfde omstandigheden uit te voeren. Het gevolg is dat de meetresultaten van elke proef met elkaar te vergelijken zijn. Dit is veel moeilijker aan boord van een hopperzuiger.

Ten tweede is het bij een laboratoriumonderzoek mogelijk een aantal verschillende soorten zand te beproeven. Dit is onmogelijk aan boord van een hopperzuiger, omdat deze gedurende langere tijd op een zelfde plaats zand wint.

Het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd in de meethal van GeoDelft. Dit onderzoek is opgesplitst in twee delen. Allereerst is een aantal standaardproeven gedaan om de zanden te classificeren. Daarna is een bezinkverlichtingsproef ontworpen en uitgevoerd ter verificatie van de in hoofdstuk 1 genoemde hypothesen.

### 3.2 Classificatieproeven

Om de zanden te classificeren is een aantal proeven verricht. De zanden zijn gezeefd om de korrelverdeling te bepalen. Verder zijn de minimum en maximum dichtheid, de korrelvorm en de doorlatendheid bepaald.

#### 3.2.1 Korrelverdeling

Voor de bepaling van de korrelverdelingen worden de zandmonsters gezeefd volgens de norm omschreven in NEN 2560. Dit is een standaardproef en daarom is de werkwijze hier niet nader omschreven.

Voor de resultaten van de proeven wordt verwezen naar bijlage I. In tabel 3.1 zijn van de verschillende zanden de parameters opgesomd die uit de zeefkrommen zijn af te leiden.

### 3.2.2 Minimum- en maximumdichtheid

Er bestaat een aantal verschillende methodieken om de minimum en maximum dichtheden te bepalen. De belangrijkste zijn omschreven in de Duitse of in de Amerikaanse normen. Er is geen Nederlandse norm, dus meestal wordt er gekozen voor één van deze methodieken. Hier is gekozen voor de methode zoals gebruikt bij GeoDelft. Dit is gedaan omdat het materieel voor de uitvoering beschikbaar was.

Voor de methode wordt verwezen naar bijlage II. De resultaten staan in tabel 3.1.

### 3.2.3 Korrelvorm

Voor het bepalen van de korrelvorm zijn ook verschillende methoden te gebruiken. Er is gekozen voor de VVS-proef. Deze proef is ontworpen door Volders en Verhoeven[1988]. Het grote voordeel van deze proef is, dat de meetresultaten van deze proef onafhankelijk zijn van de ervaring en kunde van de laborant. Dit is in tegenstelling met andere proeven die in de praktijk gebruikt worden.

De methode van de proef is omschreven in bijlage III en in tabel 3.1 zijn de resultaten op een rij gezet.

### 3.2.4 Doorlatendheid

Voor het bepalen van de doorlatendheid van de verschillende zanden wordt een doorlatendheidsproefopstelling gebruikt, zie figuur 3.1. De proef werkt als volgt.

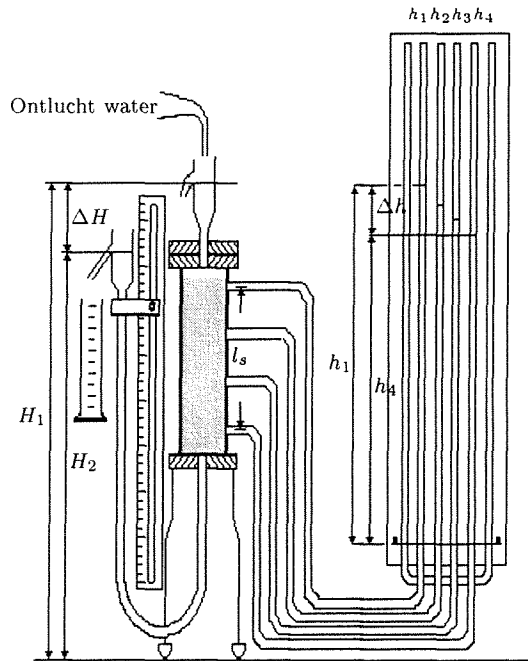
In de cilinder wordt onder water een homogeen zandpakket met een hoogte  $l$  opgebouwd. Vervolgens wordt het monster met water doorgestroomd, waarbij over de hoogte  $l_s$  een verhang, gelijk aan  $\frac{\Delta h}{l_s} = 1/4$  wordt ingesteld; na enige tijd is er sprake van een stationaire stroming door het monster.

Er kan nu gemeten worden, welk debiet door het monster stroomt. Als de monsterhoogte bekend is, kan de doorlatendheidscoëfficiënt  $k$  met onderstaande formule worden berekend. Dit wordt bij minstens 3 verschillende poriënvolumes gedaan. Het grootste poriënvolume wordt verkregen door het monster relatief los op te bouwen; de kleinere poriënvolumes komen tot stand door het monster met schokken te verdichten.

Aan het verloop van de hoogte in de standpijpen, zie figuur 3.1, kan steeds worden gecontroleerd of er sprake is van een homogene dichtheid in het zandmonster. Het verloop is dan lineair over de hoogte.

De doorlatendheidscoëfficiënt  $k$  [ $m/s$ ] is uit te rekenen met de volgende formule:

$$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta H} = \frac{Q \cdot l_s}{A \cdot t \cdot \Delta h}$$



Figuur 3.1: Zanddoorlatendheidsapparaat

met:

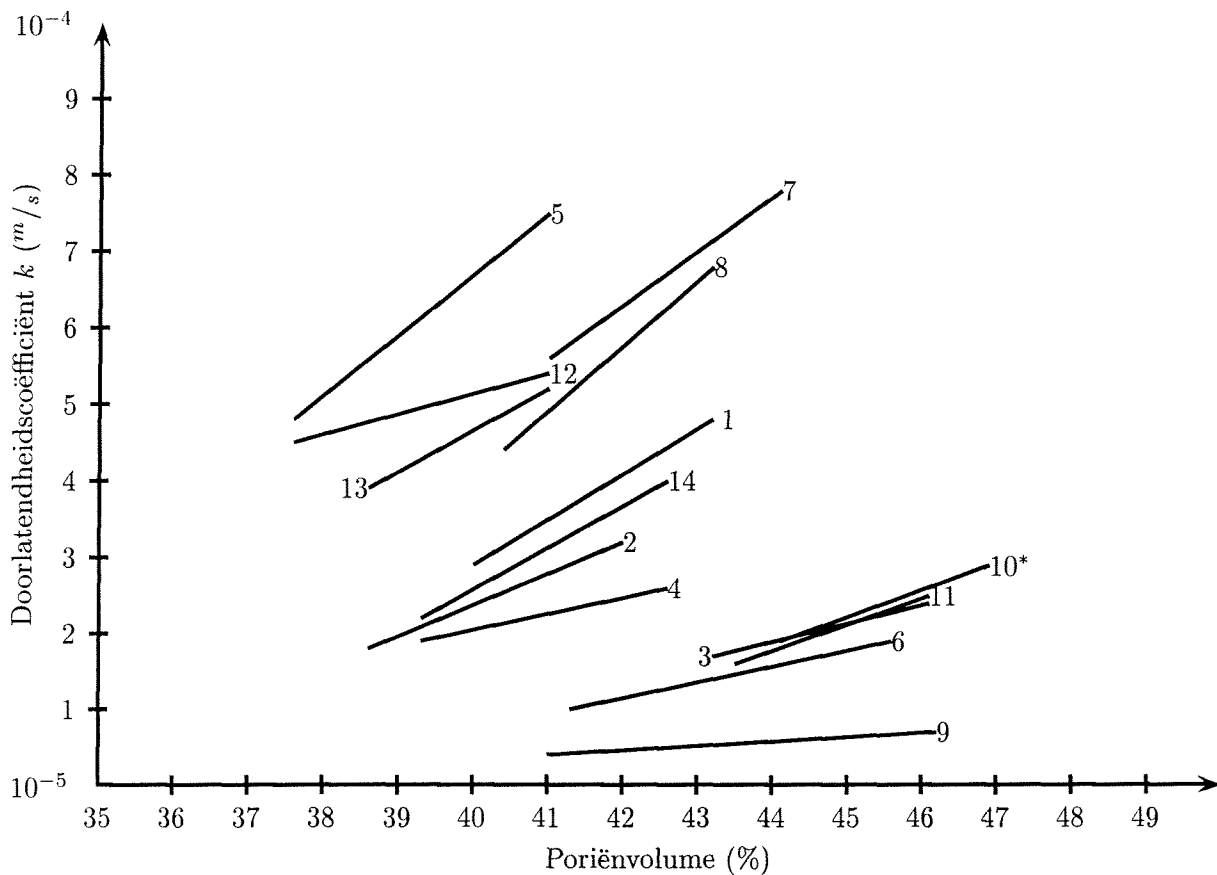
$Q$	gemeten debiet	$[m^3]$
$l$	hoogte monster	$[m]$
$l_s$	afstand meetpunten standpijpen	$[m]$ (in dit geval $l_s = 0.15m$ )
$A$	oppervlakte monsterdoorsnede	$[m^2]$ (in dit geval $A = 28.26 \cdot 10^{-4}m^2$ )
$\Delta H$	constant potentiaal verschil	$[m]$
$\Delta h$	niveaoverschil in standpijpen ( $h_1 - h_4$ )	$[m]$
$t$	doorstroomtijd	$[s]$

De resultaten zijn in figuur 3.2 gevisualiseerd.

### 3.3 Bezinkverdichtingsproef

Om de invloeden die het zandwatermengsel bij bezinking in de beun ondervindt op eenvoudige wijze te simuleren is een zogenaamde bezinkverdichtingsproef ontworpen. Tijdens de proef wordt op diverse tijdstippen na het storten de toename van de dichtheid gemeten. Daarbij wordt het monster na het bezinken een aantal malen verdicht. Het trillen van de motoren en de golfklappen, die het baggerschip ondervindt, introduceren immers verdichtingsenergieën in de beun.

Specifieke aandacht wordt besteed aan de registratie van het eventuele optreden van een vertraging tijdens het bezinken.



\* Bij Amerongenzand kon alleen een doorlatendheidsproef worden uitgevoerd, nadat de fijne fractie was uitgespoeld

Figuur 3.2: Doorlatendheid van de verschillende zanden

Het zand wordt tijdens de proef in een geringe relatieve dichtheid aangebracht in een maatcilinder. Stoten tegen de wand veroorzaakt een verdichting, welke zichtbaar wordt door het zakken van het zandoppervlak.

Spelenderwijs is de procedure tot stand gekomen. De eerste lichte tikken leveren in het begin een grote verdichting op. Naarmate meer tikken zijn gegeven, neemt de optredende verdichting per tik af. Zwaardere tikken leveren dan weer meer verdichting op. Na een aantal maal met de zwaardere slinger de cilinder aangetikt te hebben, wordt de afname in het totale volume echter gering.

Om te controleren of met aanzienlijk meer energie inbrenging een nog grotere verdichting is te bereiken, is een nog zwaarder gewicht gebruikt. Dit had echter geen succes. Niet omdat geen grotere dichtheid werd bereikt, maar omdat de glazen cilinder brak. Door een bumper op de slinger aan te brengen is getracht breuk te voorkomen, maar ook dit leverde een gebroken maatcilinder op.

Hierna is geprobeerd door de cilinder te draaien zodanige schuifspanningen in het monster te introduceren zodat nog dichtere pakkingen ontstaan. Door deze rotatie was het inderdaad mogelijk om een nog dichtere pakking te verkrijgen.

Om het breken van nog meer cilinders te voorkomen is voor de zekerheid ook bij de slingers met een lager gewicht de bumper toegepast.

### 3.3.1 Proefopstelling

De proeven zijn uiteindelijk op de volgende manier uitgevoerd. Een maatcilinder met een inhoud van 1000 ml wordt met een beplaaide massa gedroogd zand gevuld. Daarna wordt de cilinder tot 1000 ml aangevuld met water. Dit gebeurt op drie verschillende manieren:

- $C_{10}$ : 10 volume procenten zandkorrels en 90 water
- $C_{20}$ : 20 volume procenten zandkorrels en 80 water
- $C_{30}$ : 30 volume procenten zandkorrels en 70 water

Na het afsluiten met een kurk wordt de cilinder goed geschud door middel van 20 zwaai bewegingen en vervolgens stil neergezet. Direct nadat het zand bezonken is, wordt iedere minuut het volume van het zand gemeten, totdat deze niet of nauwelijks verandert.

Hierna wordt het zandpakket verdicht op de volgende wijze:

- 4 maal met slagenergie door middel van een slinger van 500 gram
- 3 maal met slagenergie door middel van een slinger van 1000 gram
- 5 maal met schuifspanningsenergie door middel van rotatie van de cilinder

Voor de verdichting met de slinger wordt de proefopstelling gebruikt welke is weergegeven in figuur 3.3.

### 3.3.2 Energiebeschouwing

De hoeveelheid energie die in de diverse fasen van de proef wordt toegevoegd is niet exact vast te stellen. Wel is het mogelijk om de verhouding tussen de toegevoegde energie van de beide slingers te bepalen. De verhouding tussen de energie-inbreng door de slingers en de energie-inbreng door de rotatie is moeilijker te bepalen.

Uiteindelijk is de verdichtingsproef met één modelzand een aantal keer uitgevoerd met alleen een slinger met de massa van 500 gram. Dit is ook gedaan met alleen een slinger van 1000 gram en alleen rotatie. Uit de meetgegevens is af te leiden hoeveel keer gemakkelijker het verdichten met de slinger met de massa van 1000 gram of met de rotatie gaat ten opzichte van de massa van 500 gram.

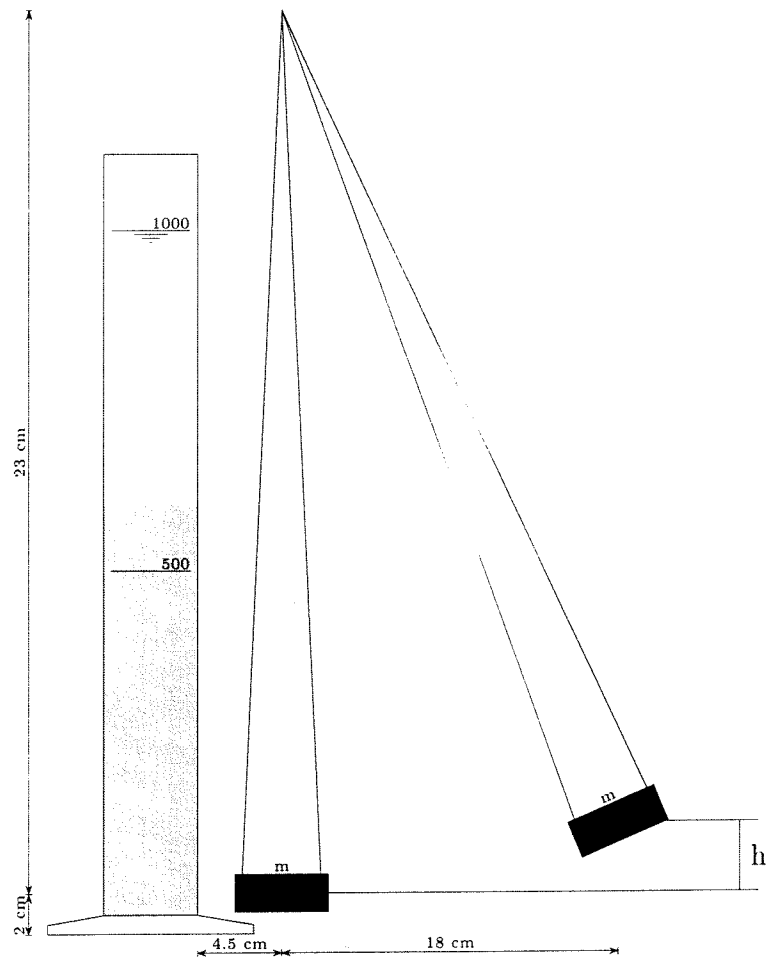
Proefondervindelijk is nu de volgende verhouding tussen de energieën vastgesteld:

$$\text{slinger}(500 \text{ g}) : \text{slinger}(1000 \text{ g}) : \text{rotatie} = 1 : 2 : 8$$

Hieronder volgt een analytische methode om de verhouding tussen de twee slingers te bepalen.

De energie die de slinger heeft voor de botsing is eenvoudig uit te rekenen. Deze is namelijk gelijk aan:

$$E_{\text{kinetisch}} = E_{\text{potentieel}} = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$$



Figuur 3.3: Proefopstelling

waarbij	$m$	massa slinger	$[g]$
	$v$	snelheid slinger	$[m/s]$
	$g$	zwaartekracht	$[m/s^2]$
	$h$	valhoogte slinger	$[m]$

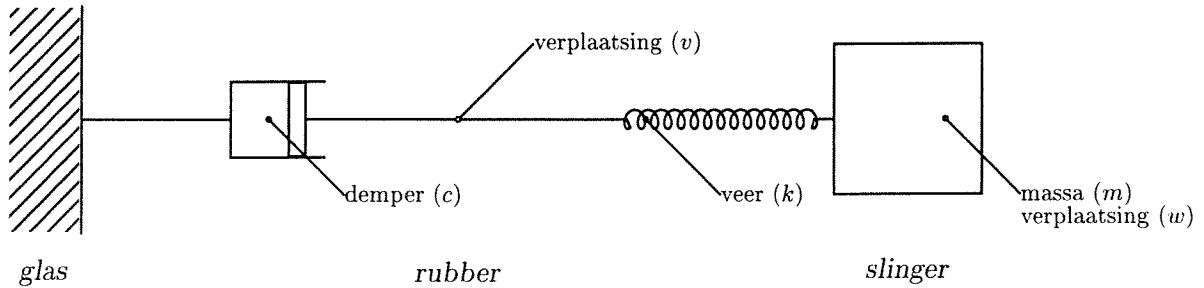
Bij een twee keer zo grote massa is de totale energie-inbreng, bij gelijke valhoogte, ook twee keer zo groot.

Ter bescherming van de maatcilinder is gebruik gemaakt van een rubber op de slinger opdat het glas niet zal breken. Er is dus sprake van een soort bumper.

De energieoverdracht van de slinger door het rubber is als een eenvoudig discreet model geschematiseerd. In de figuur 3.4 is deze weergegeven.

Dit model heeft de volgende algemene oplossingen:





Figuur 3.4: Probleemschematisatie voor de energie overdracht

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + ku - kw = 0$$

$$c \frac{dw}{dt} - ku + kw = 0$$

met:	$c$	demper constante	$[Ns/m]$
	$k$	veerconstante	$[N/m]$
	$m$	massa slinger	$[g]$
	$u$	indrukking veer	$[m]$
	$w$	indrukking demper	$[m]$

Wanneer de snelheid van de massa als additionele variabele,  $v = \frac{du}{dt}$ , wordt gebruikt, dan kunnen de vergelijkingen als eerste-ordedifferentialen worden geschreven:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & c \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ k & 0 & -k \\ -k & 0 & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dit systeem heeft drie eigen waarden, namelijk  $\beta_1, \beta_2$  en  $\beta_3$ :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0 \\ \beta_2 &= -\alpha + i\omega \\ \beta_3 &= -\alpha - i\omega \end{aligned}$$

met  $\alpha = \frac{k}{2c}$  en  $\omega = \frac{k}{2c} \sqrt{\frac{4c^2}{mk} - 1}$

Nu kunnen de eigen vectoren worden uitgerekend:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = A_0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + A_1 \begin{pmatrix} 1 \\ \alpha + i\omega \\ \frac{2\alpha}{3\alpha + i\omega} \end{pmatrix} e^{-\alpha t} e^{i\omega t} + A_2 \begin{pmatrix} 1 \\ \alpha - i\omega \\ \frac{2\alpha}{3\alpha - i\omega} \end{pmatrix} e^{-\alpha t} e^{i\omega t}$$

Wanneer nu de beginvoorwaarden worden ingevoerd,  $u(0) = 0$ ,  $v(0) = v_0$  en  $w(0) = 0$ , levert dit de volgende waarden op:

$$A_0 = \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}$$

$$A_1 = \frac{(\alpha - i\omega)(3\alpha + i\omega)}{2i\omega(\alpha^2 + \omega^2)}v_0$$

$$A_2 = -\frac{(\alpha + i\omega)(3\alpha - i\omega)}{2i\omega(\alpha^2 + \omega^2)}v_0$$

De oplossing voor de verplaatsing  $w$  wordt dan:

$$w(t) = \frac{2\alpha v_0}{\alpha^2 + \omega^2} \left[ 1 + \frac{\alpha - i\omega}{2i\omega} e^{-\alpha t} e^{i\omega t} - \frac{\alpha + i\omega}{2i\omega} e^{-\alpha t} e^{-i\omega t} \right]$$

Dit levert de volgende reële oplossing:

$$w(t) = \frac{2\alpha v_0}{\alpha^2 + \omega^2} \left( 1 - \left[ \cos(\omega t) + \frac{a}{\omega} \sin(\omega t) \right] e^{-\alpha t} \right)$$

De energie die daarbij wordt gedempt is gelijk aan:

$$E_{demp} = \int c \left( \frac{dw}{dt} \right)^2 dt$$

met:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{2\alpha v_0}{\alpha^2 + \omega^2} e^{-\alpha t} \frac{\alpha^2 + \omega^2}{\omega} \sin(\omega t)$$

daardoor is:

$$E_{demp} = \int c \left( \frac{2\alpha v_0}{\alpha^2 + \omega^2} e^{-\alpha t} \frac{\alpha^2 - \omega^2}{\omega} \sin(\omega t) \right)^2 dt = \int c \frac{4\alpha^2 v_0^2}{(\alpha^2 + \omega^2)^2} e^{-2\alpha t} \frac{(\alpha^2 - \omega^2)^2}{\omega^2} \sin^2(\omega t) dt$$

zodat:

$$E_{demp} = c \frac{4\alpha^2 v_0^2}{(\alpha^2 + \omega^2)^2} \frac{(\alpha^2 - \omega^2)^2}{\omega^2} \int e^{-2\alpha t} \sin^2(\omega t) dt$$

Deze integraal heeft de volgende oplossing:

$$E_{demp} = c \frac{\alpha^2 (\alpha^2 - \omega^2)^2}{\omega^2 (\alpha^2 + \omega^2)^2} e^{-2\alpha t} \left( \frac{1}{\omega} - \frac{\omega(\sin(2\omega t) - \cos(2\omega t))}{(\alpha^2 + \omega^2)} \right) v_0^2$$

Dit levert voor de uiteindelijke energieoverdracht de volgende vergelijking op:

$$E = E_{kinetisch} - E_{demp} = \frac{1}{2} m v^2 - K_{demp} v^2$$

met:

$$K_{demp} = c \frac{\alpha^2 (\alpha^2 - \omega^2)^2}{\omega^2 (\alpha^2 + \omega^2)^2} e^{-2\alpha t} \left( \frac{1}{\omega} - \frac{\omega(\sin(2\omega t) - \cos(2\omega t))}{(\alpha^2 + \omega^2)} \right)$$

Reële waarden voor de verschillende constanten zijn:

$$\begin{array}{ll} k & 4.0^{MN}/m \\ c & 2000^{Ns}/m \end{array}$$

Het invullen van deze waarden levert voor  $K_{demp}$  zeer kleine waarden op en het energieverlies is dus zeer gering. Bij een 2 keer zo grote massa is de energie-inbreng dus bij benadering 2 keer zo groot.

### 3.4 Waarnemingen

Er is, met uitzondering van één keer, geen duidelijk vertraagde sedimentatie waargenomen bij depositie in een maatcilinder.

Alleen bij Amerongen, zandnummer 10, stroomde er regelmatig water na het inbrengen van energie vertraagd uit het zandpakket. Dit gebeurde bij alle concentraties. Tijdens het bezinken trad er ontmenging op. Door deze ontmenging ontstond er een dun laagje van fijn materiaal op het zandpakket. Dit laagje fijn materiaal had een zeer lage doorlatendheid. Wanneer de waterdruk onder het laagje hoog genoeg was geworden, ontstonden er een paar stroomkanaaltjes naar boven toe. Hier stroomde het teveel aan water doorheen, waardoor het zandpakket uiteindelijk toch een kleiner poriënvolume kreeg.

Nadat alle proeven waren uitgevoerd, zijn de resultaten uitgezet in grafieken. Er zijn 2 grafieken per zandsoort; het poriënvolume tegen de hoeveelheid toegevoegde energie en de relatieve dichtheid tegen de hoeveelheid toegevoegde energie. Deze grafieken zijn voor elke zandsoort weergegeven in bijlage IV.

Wanneer elke afzonderlijke grafiek in bijlage IV wordt bekeken, blijkt dat de volgorde van de concentraties niet vastligt. De ene keer leidt  $C_{10}$  tot de dichtste pakking, de andere keer de  $C_{20}$  of  $C_{30}$  en soms maakt de concentratie helemaal niet uit. Ook lopen de lijnen niet evenwijdig. Het komt voor dat een concentratie het hoogste poriënvolume in het begin heeft en het laagste aan het eind. Dit kan alleen, wanneer er sprake is van kruisende lijnen.

De verschillende concentraties hebben dus geen invloed op de grootte van het begin- en eindporiënvolume.

In tabel 3.2 staat een compleet overzicht van de waarnemingen. In deze tabel staat onder andere een overzicht van begin- en eindwaarden van het poriënvolume voor de verschillende concentraties.

De verschillen tussen de beginporiënvolumes van de drie concentraties zijn erg klein. Daardoor is het mogelijk deze waarden te middelen. Dit geldt ook voor de eindporiënvolumes.

naam	$d_{50}$ [mm]	DMF [mm]	$(d_{10})^2$ [mm <sup>2</sup> ]	massapercentage $\leq 63\mu m$	massapercentage $\leq 53\mu m$	massapercentage fijne fractie $\leq 38\mu m$	$C_u$ [-]	$C_c$ [-]	$n_{min}$ [%]	$n_{max}$ [%]	VVS [-]
1 WL A	0,221	0.238	0.025	-	-	-	1,503	1,026	33,8	46,0	40
2 WL B	0,212	0.210	0.020	-	-	-	1,556	1,079	32,3	46,0	39
3 WL C	0,147	0.156	0.014	-	-	-	1,286	0,972	38,2	49,3	41
4 WL D	0,196	0.198	0.013	1	<1	<1	1,860	1,020	33,6	45,9	34
5 WL E	0,403	0.406	0.047	<1	-	-	2,078	1,046	32,3	44,3	50
6 Baskarp	0,131	0.136	0.008	1	-	-	1,578	0,947	35,5	46,5	42
7 Sylt	0,308	0.332	0.029	-	-	-	2,018	1,029	35,5	47,0	66
8 Metselzand	0,489	0.521	0.058	<1	<1	<1	2,307	0,994	35,1	45,8	58
9 Zeefzand	0,173	0.275	0.004	9	5	2	3,424	0,753	33,3	48,4	73
10 Amerongen	0,120	0.183	0.010	8	7	6	2,000	1,280	39,8	51,8	76
11 Zeyen	0,087	0.086	0.003	16	10	5	1,698	1,243	42,9	56,5	81
12 Rijsbergen	0,300	0.326	0.027	-	-	-	2,104	1,039	31,8	44,6	49
13 Glasparels	0,231	0.235	0.029	-	-	-	1,418	1,097	34,2	40,7	0
14 Brekerzand	0,624	0.775	0.019	2	1	1	6,245	0,947	34,7	48,9	100
Alpha Bay	0.216	0.219	0.025	1	1	1	1.459	1.015	33,6	46,3	39

Tabel 3.1: Overzicht parameters van de classificatieproeven

naam	begin-poriënvolume				eind-poriënvolume				optreden van vertraging na inbrengen van extra energie			
	C10 [%]	T [min]	C20 [%]	T [min]	C30 [%]	T [min]	gemiddeld [%]	gemiddeld [%]				
1 WL A	45.2	-	44.8	-	45.2	-	45.1	38.5	37.3	38.8	38.2	
2 WL B	44.8	-	44.1	-	44.4	-	44.4	37.5	37.5	37.5	37.5	
3 WL C	50.0	-	49.7	-	49.2	-	49.6	41.6	42.0	41.2	42.3	
4 WL D	45.2	-	45.2	-	44.4	-	44.9	38.5	38.5	37.8	38.3	
5 WL E	44.1	-	44.3	-	44.2	-	44.2	38.5	38.7	38.8	38.7	
6 Baskarp	48.1	-	47.9	-	46.2	1	47.4	40.3	39.4	40.0	40.0	
7 Sylt	47.0	-	46.7	1	46.4	1	46.7	41.2	41.0	40.0	40.7	
8 Metselzand	45.2	-	45.6	-	45.2	-	45.3	39.8	39.4	38.8	39.3	nog enkele malen bij C30
9 Zeezand	52.4	1	50.5	2	50.0	3	50.9	44.4	43.1	42.3	43.3	regelmatig bij alle concentraties
10 Amerongen	54.5	10	54.8	11	54.5	12	54.6	45.2	45.0	44.7	45.0	nog enkele malen bij alle concentraties
11 Zeyen	50.3	8	51.1	9	50.2	9	50.5	43.7	42.9	42.0	42.8	
12 Rijsbergen	44.4	-	44.1	-	44.2	-	44.2	37.5	37.0	37.2	37.2	
13 Glasparels	44.1	-	43.1	-	42.3	-	43.2	37.5	37.5	37.5	37.5	
14 Brekerzand	52.4	-	51.2	-	50.8	-	51.5	44.4	44.6	43.4	44.1	
Alpha Bay	43.7	-	43.9	-	43.9	-	43.8	34.4	34.4	35.1	34.6	

Tabel 3.2: Overzicht waarnemingen van de bezinkverdichtingsproef



## Hoofdstuk 4

# Veldonderzoek

### 4.1 Inleiding

Om de verkregen resultaten van het laboratoriumonderzoek terug te kunnen koppelen naar de praktijk, zijn nog enkele veldmetingen gedaan. Eind oktober 1998 zijn hiervoor gedurende drie dagen een aantal metingen gedaan aan boord van de hopperzuiger Alpha Bay van D. Blankenvoort uit Bloemendaal.

Dit schip is een kleine splithopperzuiger. Dit houdt in dat de lading kan worden gelost door de beun aan de onderkant te splijten. Deze manier van lossen wordt klappen genoemd. Het splijten gebeurt zelfs over de gehele lengte van het schip.

Het baggerschip werd op de Noordzee geladen en daarna werd het zand geklapt boven de Fortput in IJmuiden.

### 4.2 Meetmethode

Voor het meten wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde steekring waarvan de inhoud exact bekend is. De gebruikte steekring heeft een inhoud van 495 ml.

De steekring wordt verticaal de grond ingedrukt. Hierna wordt het zand rond de steekring weggegraven, waarna hij voorzichtig wordt verwijderd. Na het afvlakken van beide zijden, wordt het monster in een zakje gedaan.

In het laboratorium wordt het monster gedroogd, waarna de massa wordt bepaald. Nu kan de in situ dichtheid worden uitgerekend door de massa van het zandmonster te delen door de inhoud van de steekring.

### 4.3 Veldwerk

Er is slechts een klein aantal insitu metingen gedaan. Dit heeft een aantal oorzaken.

Allereerst is het met een cyclustijd (wegvaren - laden - terugvaren - dumpen) van 4 uur het mogelijk om op zes ladingen per dag metingen uit te voeren. Van deze zes ladingen, kunnen op drie ladingen geen metingen worden uitgevoerd in verband met de veiligheid. Het was niet toegestaan na het vallen van de duisternis aan dek te komen.

Ten tweede kwam het schip rechtstreeks van een reparatie/onderhoudswerf in Amsterdam. Tijdens de paar dagen dat er gemeten kon worden, kwamen nog opstart problemen voor. Dit had tot gevolg dat minder vaak geladen werd.

Een derde belangrijke oorzaak was het weer. Er stond een flinke deining door de harde wind, windkracht 5/6 Beaufort en golfhoogten van 2 à 2.5 m.

De sleepkop moet natuurlijk aan de grond blijven en dus worden er grote krachten uitgeoefend op het draaipunt waar de zuigbuis aan het schip bevestigd is. Met nog meer wind zou er zelfs niet meer gebaggerd kunnen worden vanwege de te hoge golven. Het gevolg was dat het zuigen beëindigd werd, zodra de beun 'redelijk' vol was. Er komt dan helaas geen zand boven het water in de beun, dat altijd tot de hoogte van de overlaat staat. Dit kwam tevens doordat het zandmengsel relatief fijn is,  $d_{50} \approx 216 \mu m$ . Met 'droge in situ methoden', zoals met de steekring, kunnen dan geen metingen worden uitgevoerd. Het water kon ook niet afstromen door de hoogte van de overlaat te verlagen. Deze kon namelijk niet ver genoeg zakken.

De laatste oorzaak is ook het gevolg van het slechte weer. Het was pas mogelijk metingen op de lading uit te voeren, wanneer het schip rustiger bewoog. Dit bewegen nam af, zodra het schip tussen de pieren van IJmuiden was gearriveerd. De afstand vanaf het begin van de pieren tot aan de Fortput is echter zeer kort. Hierdoor kon maar één meting worden uitgevoerd, voordat de lading geklapt zou worden.

Uiteindelijk is één keer aan de oppervlak van de lading een meting uitgevoerd.

Om toch nog meer metingen te verkrijgen is er een alternatieve methode geïmproviseerd. Deze methode werkte als volgt. Voordat met het laden werd begonnen, werd er een emmer in het beun gehangen. Deze emmer bleef na het klappen in het beun hangen. Vervolgens werd in de emmer na het ophijsen een monster gestoken.

Dit verliep echter ook niet zonder problemen. De eerste emmer verdween bij het lossen ook naar de bodem. De centimeter dikke lijn was gebroken. Pas nadat een ijzeren blik, bevestigd aan een staalkabel, in de beun werd gehangen, bleef deze ook na het lossen hangen.

Bij deze methode wordt wel aangenomen dat het zand in de nauwe emmer ongeveer de dichtheid van het zand in de veel ruimere beun heeft. In hoeverre het klappen het zandpakket in de emmer heeft verdicht is niet duidelijk. Waarschijnlijk vindt wel enige verdichting plaats

Met de alternatieve methode zijn nog eens vier metingen gedaan.

De monsters zijn dus niet direct gestoken na het beëindigen van de belading. De ene keer dat direct aan het oppervlak een monster werd gestoken, gebeurde dat niet direct na het laden.



Het was immers pas tussen de pieren van IJmuiden mogelijk naar beneden in de beun te af te dalen. Voor het steken de vier monsters in de emmer moest worden gewacht tot na het klappen van de lading. Dan kon pas de emmer aan dek worden gehaald, waarna een monster werd gestoken. De bewegingen van het schip van de winplaats tot aan de stortplaats hebben tot gevolg dat meer verdichtingsenergie in de zandlading wordt ingebracht dan indien direct na het beëindigen van de belading de metingen zouden zijn uitgevoerd.

Alleen metingen, uitgevoerd direct na het beëindigen van belading en bij een vlakke zee, kunnen gebruikt worden om de meetresultaten van de bezinkverdichtingsproef te ondersteunen.

Uit het bovenstaande blijkt dat metingen aan boord niet eenvoudig zijn uit te voeren. Meten in de praktijk is dus niet zo eenvoudig als het lijkt. Er is of een zeer grondige voorbereiding met allerlei scenario's, of veel improvisatievermogen nodig. Gelukkig is de bemanning altijd bereid mee te denken en te helpen. Al met al was het een nuttige ervaring.

#### 4.4 Meetresultaten

Het poriënvolume gemeten aan het oppervlak van de lading is 39.5%. De poriënvolumes, gemeten in de emmer, liggen tussen  $n = 36.2\%$  en  $n = 37.1\%$ .

De proeven, zoals beschreven in hoofdstuk 3, zijn ook met dit Noordzeezand uitgevoerd; zie zand Alpha Bay.

#### 4.5 Conclusie veldonderzoek

Het is moeilijk om conclusies uit dit uitgevoerde veldonderzoek te trekken. Dit heeft twee oorzaken.

Ten eerste is het aantal metingen gering. Door dit geringe aantal is het moeilijk een tendens of wetmatigheid te ontdekken.

Ten tweede zijn de metingen niet direct na het stoppen met laden uitgevoerd. Hierdoor is het niet mogelijk om de meetgegevens met de meetgegevens van de laboratoriumproeven te vergelijken.

Uit het veldonderzoek komt wel naar voren dat de weersomstandigheden tijdens het baggeren zeer bepalend zijn voor het uiteindelijke poriënvolume in de beun. Wanneer de uiteindelijke dichtheid zoals gemeten in de beun wordt vergeleken met de situatie in het laboratorium, dan blijkt dat er tussen 11 à 22 slagen met de slinger van 500 gram nodig zijn om een vergelijkbare dichtheid te verkrijgen.

Indien nu een ander zand onder deze omstandigheden zou zijn gebaggerd, zou ook een dichtheid gemeten worden, waar in het laboratorium 11 tot 22 slagen voor nodig zijn.

Hieruit volgt ook dat het poriënvolume van de lading van tevoren moeilijk is te schatten, aangezien de invloed van de weersomstandigheden niet gemakkelijk te voorspellen zijn.



## Hoofdstuk 5

# Verwerking meetgegevens

In dit hoofdstuk is getracht in een aantal grafieken de meetgegevens, die tijdens het laboratoriumonderzoek zijn verzameld, weer te geven en te interpreteren.

Allereerst is gecontroleerd of de gemeten waarden voor verschillende parameters reële waarden zijn.

In de daarop volgende paragraaf zijn de gemiddelden van de concentraties van elke proef in twee grafieken getekend, waarbij de verdichtingsenergie is uitgezet tegen het poriënvolume  $n$  en tegen de relatieve dichtheid  $D_r$ . Hierna is de verdichtingsenergie tegen toename van poriënvolume en tegen de toename van de relatieve dichtheid geplot.

Als laatste worden in een tabel de  $n_{freeze}$  vergeleken met het gemeten begin-poriënvolume.

### 5.1 Controle meetgegevens

In deze paragraaf wordt eerst een controle uitgevoerd van enkele belangrijke zand-parameters. Bij het plotten van de verschillende grafieken zijn de gegevens van de twee extreme zanden, glasparels en brekerzand, echter niet meegenomen. Dit is gedaan om het beeld van de natuurlijke zanden niet te verstoren.

#### 5.1.1 Diameter mediane fractie en uniformiteitscoëfficiënt

De waarden van de  $DMF$  en  $C_u$  van de verschillende zanden worden in de figuur 2.1 geplot. Het resultaat is figuur 5.1.

In deze figuur 5.1 is duidelijk te zien, dat de gemeten waarden dezelfde trend vertonen.

#### 5.1.2 Uniformiteitscoëfficiënt en minimale en maximale poriënvolume

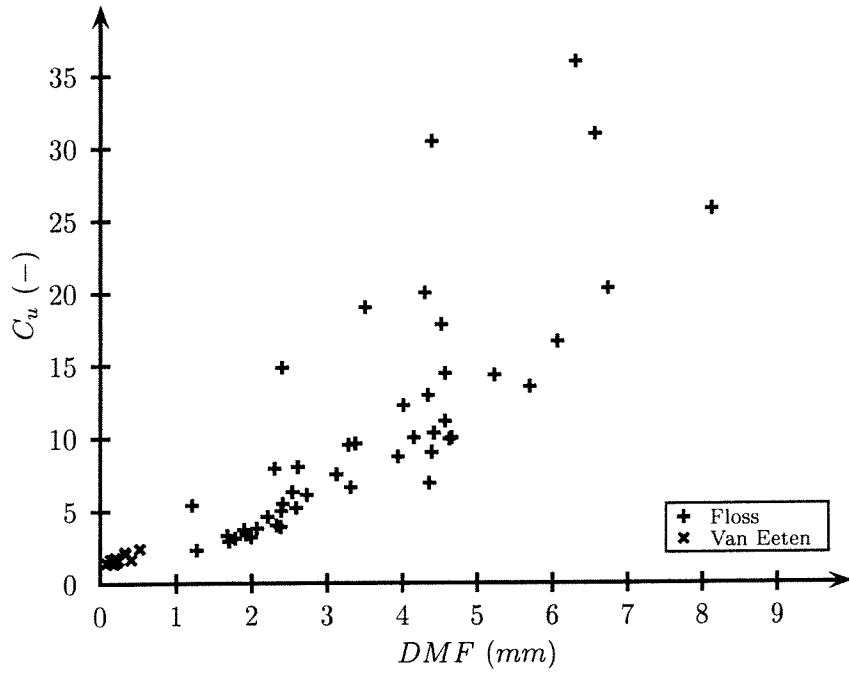
Hetzelfde is gedaan voor het verband tussen de uniformiteitscoëfficiënt  $C_u$  en het minimale en maximale poriënvolume. Deze zijn geplot in de grafiek van Bezemer en Slagboom, figuur 2.3. Dit levert de figuur 5.2 op.

In figuur 5.2 vallen twee zanden op. Dit zijn de zanden Amerongen en Zeyen. Deze hebben inderdaad een  $VVS$ -waarde van ongeveer 75, zie ook tabel 3.1. Deze gemeten waarden komen overeen met de verwachtingen.

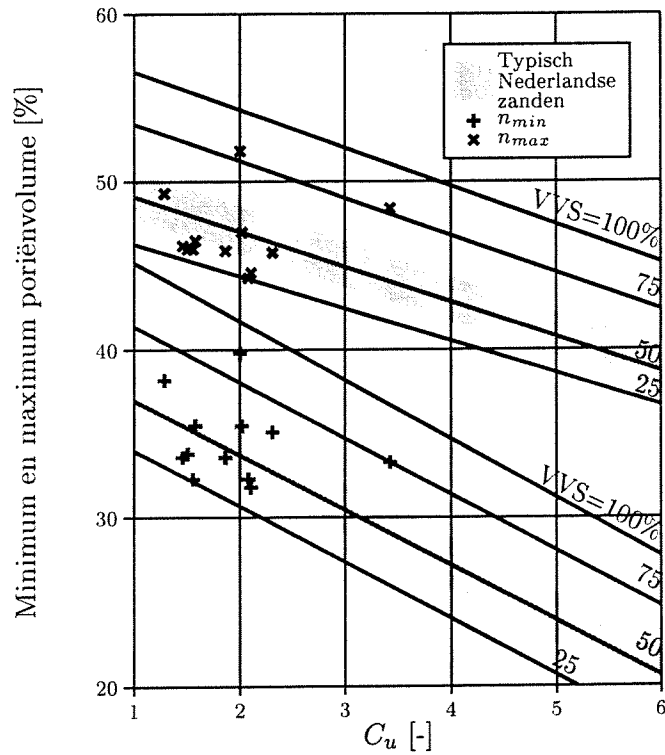
### 5.1.3 Doorlatendheid

Ook wordt er gekeken naar de doorlatendheid. Deze is zowel uitgezet tegen het poriënvolume als tegen de relatieve dichtheid. Zie figuur 5.3 en 5.4.

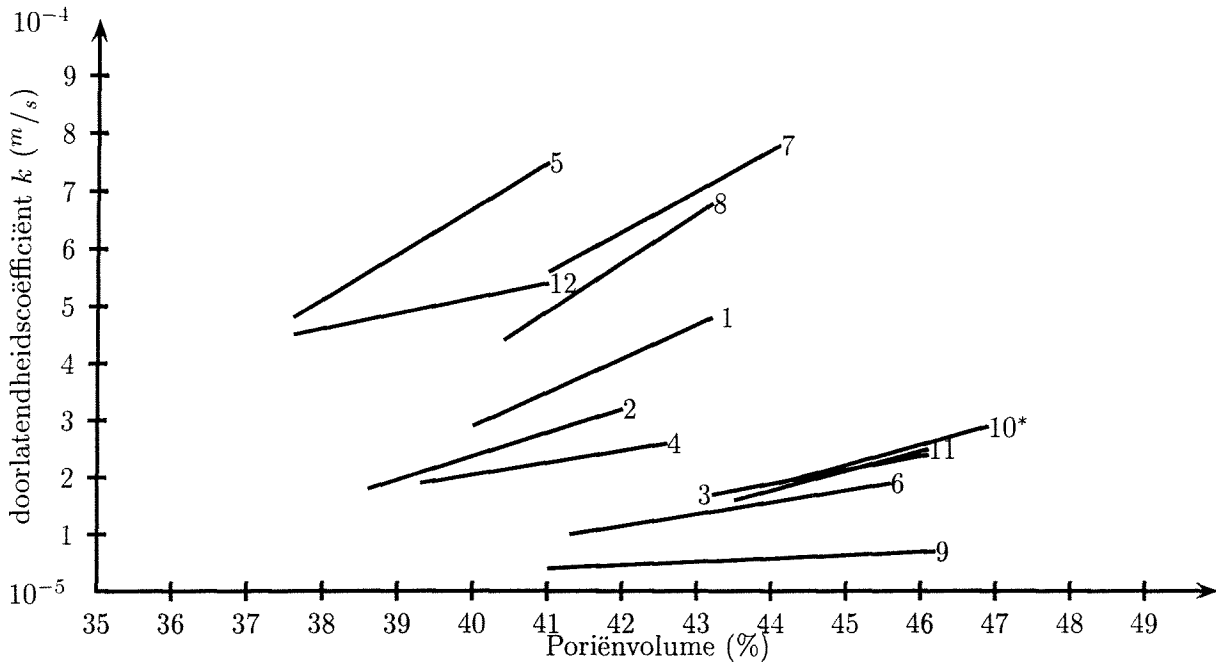
Een maat voor de doorlatendheid is  $(d_{10})^2$ . Naarmate bij zand de waarde van  $(d_{10})^2$  kleiner wordt, neemt de doorlatendheid en dus ook de doorlatendheidscoëfficiënt  $k$  af. Met behulp van tabel 3.1 kan dit worden gecontroleerd. Hieruit volgt dat ook de berekende  $k$ -waarden overeenkomen met de verwachtingen.



Figuur 5.1:  $DMF-C_u$  van kwartszand

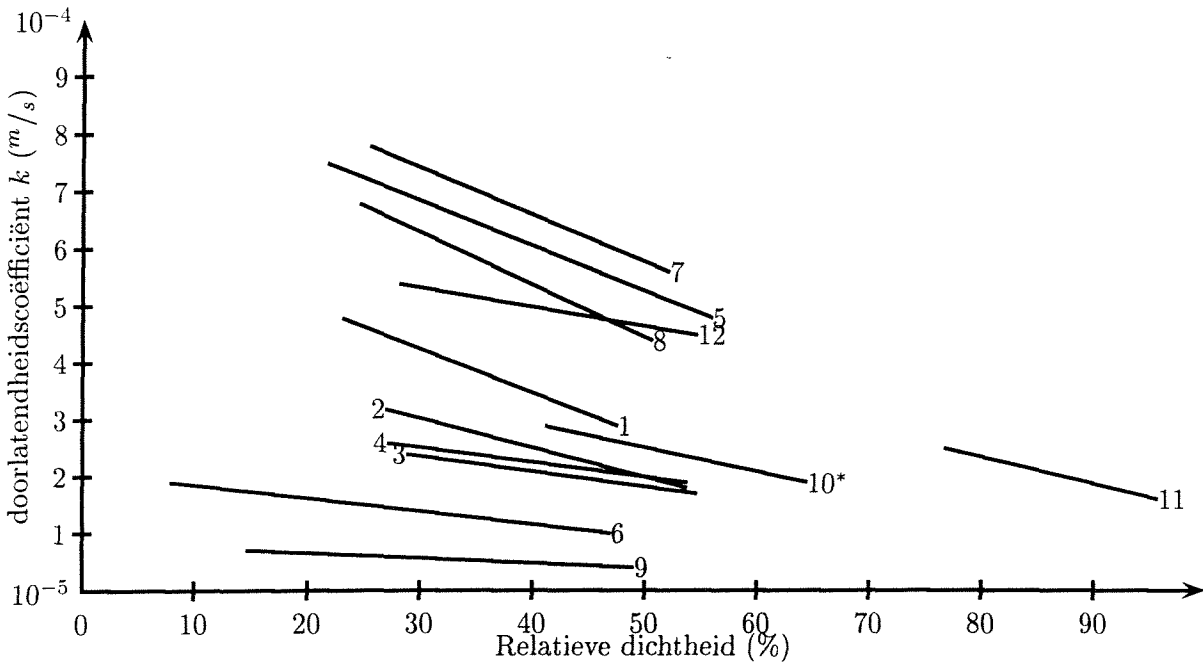


Figuur 5.2: Minimum en maximum poriënvolume als functie van  $C_u$  en  $VVS$



\* Bij Amerongenzand kon alleen een doorlatendheidsproef worden uitgevoerd, nadat de fijne fractie was uitgespoeld

Figuur 5.3: Doorlatendheid tegen het poriënvolume



\* Bij Amerongenzand kon alleen een doorlatendheidsproef worden uitgevoerd, nadat de fijne fractie was uitgespoeld

Figuur 5.4: Doorlatendheid tegen relatieve dichtheid

## 5.2 Verwerking meetgegevens

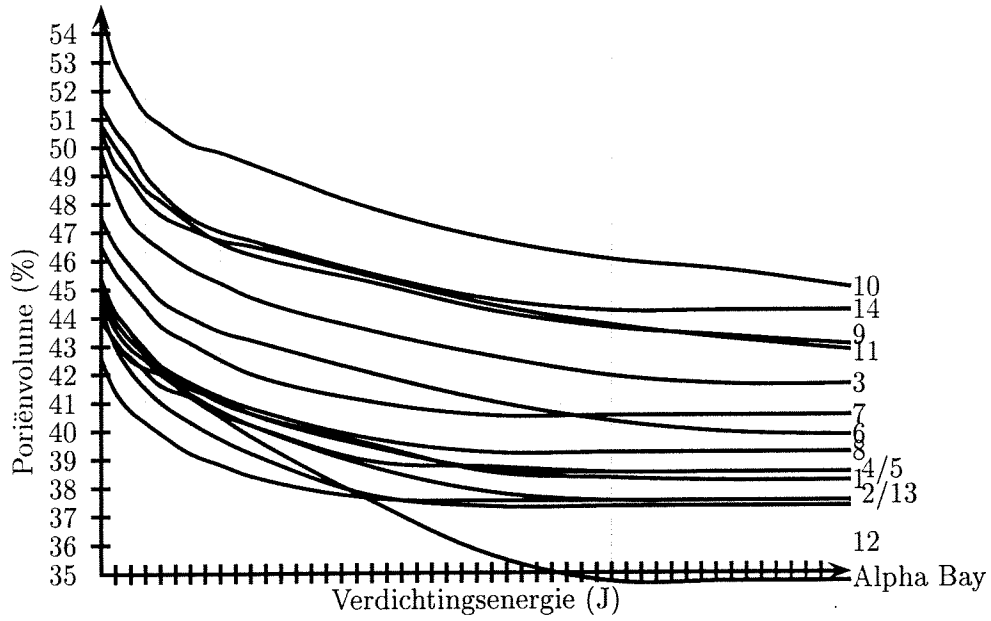
### 5.2.1 Verdichtingsenergie tegen poriënvolume en relatieve dichtheid

De verdichtingsenergie is in figuur 5.5 en 5.6 tegen het gemiddelde poriënvolume en de gemiddelde relatieve dichtheid van de 3 concentraties uitgezet. Dit is mogelijk, omdat de verschillen in concentratie geen invloed hebben op het eindresultaat. Dit is nader omschreven in paragraaf 3.4.

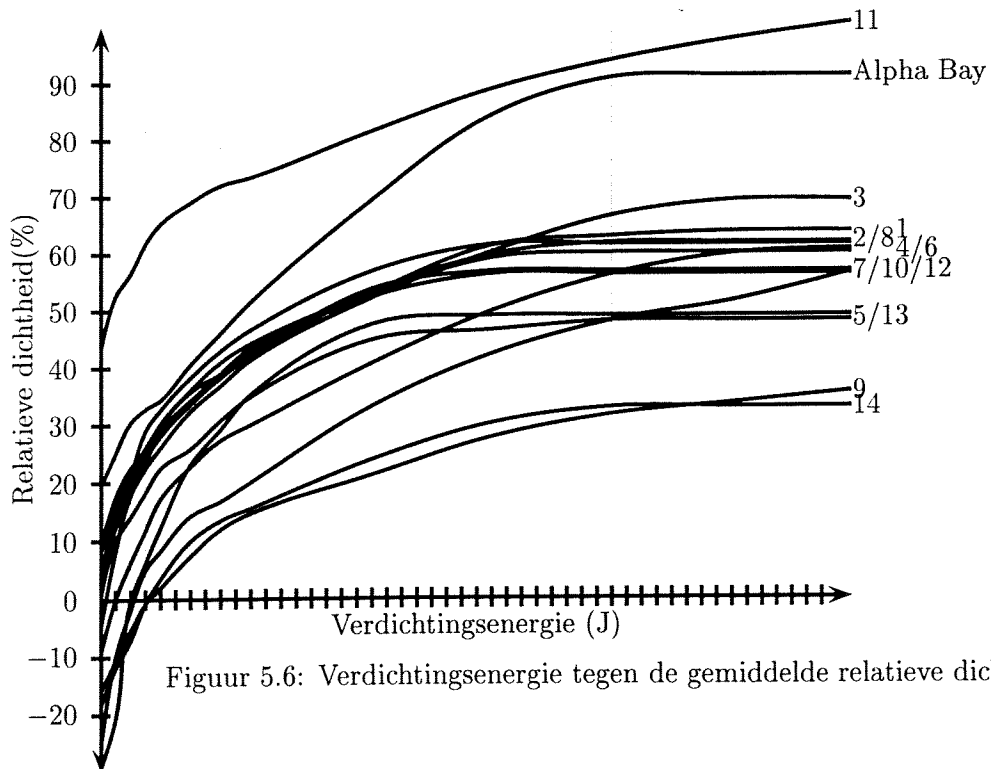
### 5.2.2 Verdichtingsenergie tegen toename poriënvolume en relatieve dichtheid

De lijnen in de grafieken, zoals gegeven in de vorige subparagraaf, kunnen zo verschoven worden, dat deze op hetzelfde punt op de  $y$ -as beginnen. Dan wordt dus de verdichtingsenergie uitgezet tegen de verandering van het poriënvolume. In de tweede grafiek wordt dus de verdichtingsenergie uitgezet tegen de verandering van de relatieve dichtheid. Nu kan het verloop van de grafiek *Verdichtingsenergie-Poriënvolume* vergeleken worden met de grafiek *Verdichtingsenergie-Relatieve Dichtheid*.

Bij het uitzetten van de curven in figuur 5.8 ontstaan uiteindelijk twee duidelijk verschillende groepen. Voor het ontstaan van dit verschil is geen verklaring. Het blijkt onmogelijk een direct verband te vinden tussen de waarde van een zandparameter, zoals bijvoorbeeld de  $DMF$  of de  $C_u$ , en het behoren bij één van deze twee groepen. Zo zijn bijvoorbeeld de  $d_{50}$  van zandnummer 2 en Alpha Bay bijna aan elkaar gelijk. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld voor de  $(d_{10})^2$  van zandnummer 3 en 4. Toch behoren de desbetreffende twee zanden tot de verschillende groepen.

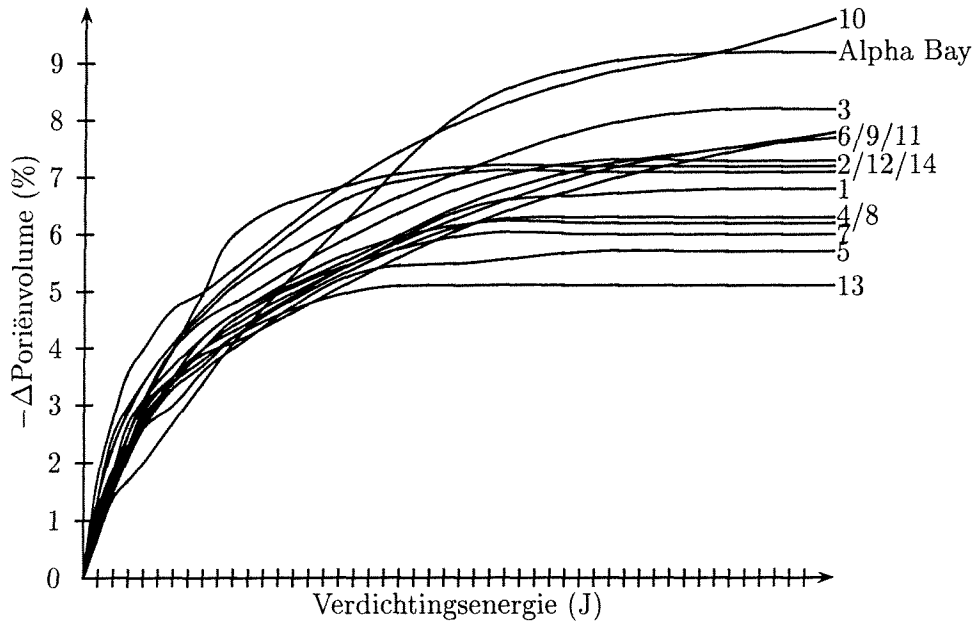


Figuur 5.5: Verdichtingsenergie tegen het gemiddelde poriënvolume

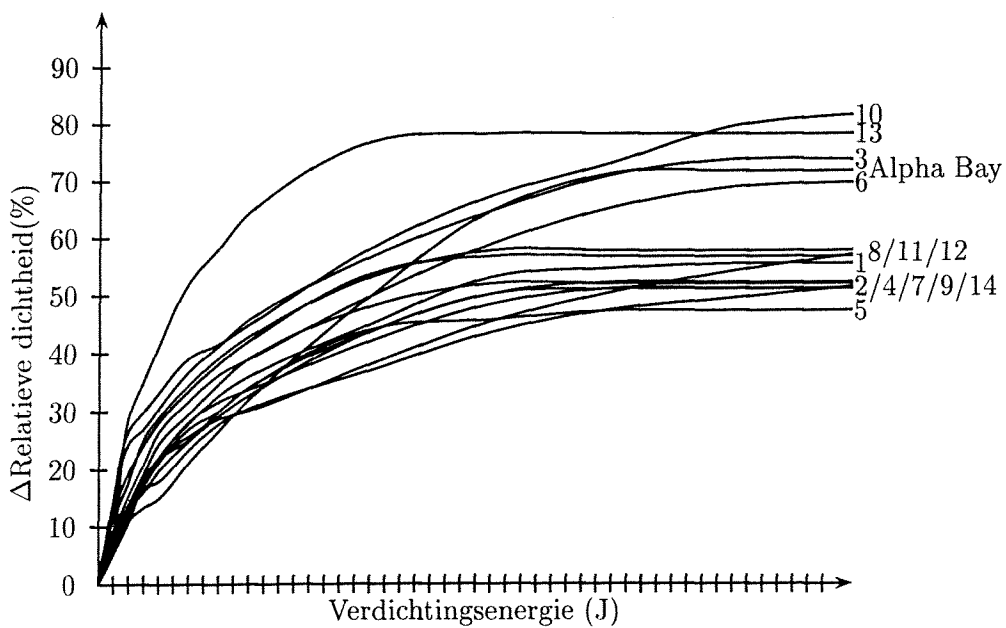


Figuur 5.6: Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde relatieve dichtheid





Figuur 5.7: Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde toename van het poriënvolume



Figuur 5.8: Verdichtingsenergie tegen de gemiddelde toename van de relatieve dichtheid

### 5.3 Relatie poriënvolume onderwaterstort en gemeten poriënvolume

Indien de methode om de dichtheid van een onderwaterstort te voorspellen wordt toegepast, zoals omschreven in paragraaf 2.6, levert dit voor de beginsituatie tijdens de laboratoriumproef goede resultaten op. In tabel 5.1 is voor elke zandsoort het poriënvolume direct na het bezinken vergeleken met de  $n_{freeze}$  volgens Heezen en Van der Stap.

monster nummer	monster naam	n freeze	n gemeten	verschil	
				absoluut	procentueel
1	WL A	45.1	45.1	0.1	0.2
2	WL B	43.8	44.4	0.6	1.4
3	WL C	48.7	49.7	1.0	2.0
4	WL D	44.9	45.1	0.1	0.2
5	WL E	43.9	44.2	0.2	0.6
6	Baskarp	46.5	48.0	1.5	3.1
7	Sylt	46.5	46.8	0.2	0.5
8	Metselzand	46.2	45.4	0.9	1.9
9	Zeefzand	44.7	51.3	6.6	<b>14.8</b>
10	Amerongen	50.1	55.0	4.9	<b>9.8</b>
11	Zeyen	52.7	50.6	2.1	3.9
12	Rijsbergen	43.5	44.2	0.8	1.7
13	Glasparsels	45.4	43.3	2.1	4.7
14	Brekerzand	45.8	51.6	5.8	<b>12.6</b>
	Alpha Bay	45.7	43.8	1.9	4.2

Tabel 5.1: Resultaten met berekeningsmethode van onderwaterstort

Vetgedrukt zijn de waarden die meer dan 5% afwijken van de berekende waarde voor  $n_{freeze}$ . De grootste afwijkingen treden op bij:

- Amerongen slecht doorlatend vanwege het hoge percentage fijn materiaal
- Zeefzand geen natuurlijk zand; kunstmatig samengesteld
- Brekerzand geen natuurlijk zand; gemaakt door het breken van grind

Met deze methode kunnen dus goed voor "normale" natuurlijke zanden de poriënvolumes, zonder toevoeging van extra energie, worden voorspeld. Dit voorspelde poriënvolume kan als een bovengrens voor de waarden van het poriënvolume  $n$  in de beun worden aangehouden.

## Hoofdstuk 6

# Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de vorige hoofdstukken samengevoegd. Met deze gegevens worden allereerst de hypothesen gecontroleerd. Hierna wordt de praktijk-grafiek geverifieerd, gevolgd door de eindconclusie. Naar aanleiding van de eindconclusie worden er nog enkele aanbevelingen gedaan.

### 6.1 Controle hypothesen

#### 6.1.1 Hypothese 1

*Naarmate de DMF toeneemt, treedt er minder vertraging op in het bezinkproces.*

Bij zanden 10 en 11 was de bezinktijd wel aanzienlijk langer, zie tabel 3.2, maar dit is niet direct een gevolg van de waarde van *DMF*. Zand 3 heeft bijvoorbeeld een *DMF* die ligt tussen die van 10 en 11 maar waarbij echter geen meetbare vertraging optreedt.

Er is echter wel een direct verband tussen de waargenomen vertraging en het percentage fijn materiaal. De zanden 10 en 11, waarbij het bezinken en verdichten duidelijk trager verloopt, hebben namelijk een zeer hoog percentage fijn materiaal, zie tabel 3.1 op bladzijde 40.

Het is onwaarschijnlijk dat het percentage fijn materiaal in een beun ook zo hoog kan zijn. Een groot gedeelte van het fijne materiaal zal namelijk niet bezinken maar weer overboord stromen.

Bij de overige zanden zijn tijdens het uitvoeren van de bezinkverdichtingsproef geen vertragingen gemeten.

Deze hypothese is dus niet bewezen. Het verschil in bezinktijd van de verschillende zanden is niet te meten, tenzij een hoog percentage fijn materiaal met een korreldiameter kleiner dan  $63\mu\text{m}$  aanwezig is.

### 6.1.2 Hypothese 2

Naarmate de  $DMF$  toeneemt, wordt er een dichtere pakking gerealiseerd.

Wanneer de  $DMF$  toeneemt, neemt de gradering van natuurlijke zanden en grinden ook toe. Dit is duidelijk aangetoond aan de hand van gegevens uit de literatuurstudie in figuur 2.1. Hier passen ook de onderzochte zanden in. Een toename van de gradering heeft ook tot gevolg dat het minimum en maximum poriënvolume afneemt, zie figuur 2.2 of 2.3. Neemt het minimum poriënvolume af, dan neemt de  $n_{freeze}$  volgens de formule van Heezen en Van der Stap, paragraaf 2.6, ook af. Het is echter wel onbekend, wat het geldigheidsgebied van de vergelijking voor  $n_{freeze}$  is, met name of dit alleen geldt voor zand of ook voor grindzanden.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat bij toename van de  $DMF$  ook een zandpakket met een grotere dichtheid in de beun zal ontstaan.

## 6.2 Verificatie van de praktijkgrafiek

Bij het laboratoriumonderzoek is gewerkt met zanden met een  $DMF$  kleiner dan  $0.775\text{ mm}$ . Hierdoor kan slechts een klein gedeelte van de praktijkgrafiek zoals weergegeven in figuur 1.2 worden geverifieerd. Daarom zijn in figuur 6.1(a) van alle zanden de volgende parameters geplot:

- minimale en maximale poriënvolume
- $n_{freeze}$
- begin- en eindporiënvolume, gemeten bij de bezinkverdichtingsproef

De extreme zanden, glasparsels en brekerzand, alsmede Amerongen- en Zeyenzand zijn niet opgenomen. Deze zijn namelijk niet representatief voor zanden die in de praktijk gebaggerd kunnen worden. Bij Amerongen- en Zeyenzand komt dit vooral door het hoge percentage fijn materiaal dat aanwezig is; in de praktijk zal veel van dit materiaal niet in de beun terechtkomen, omdat het over boord gespoeld is.

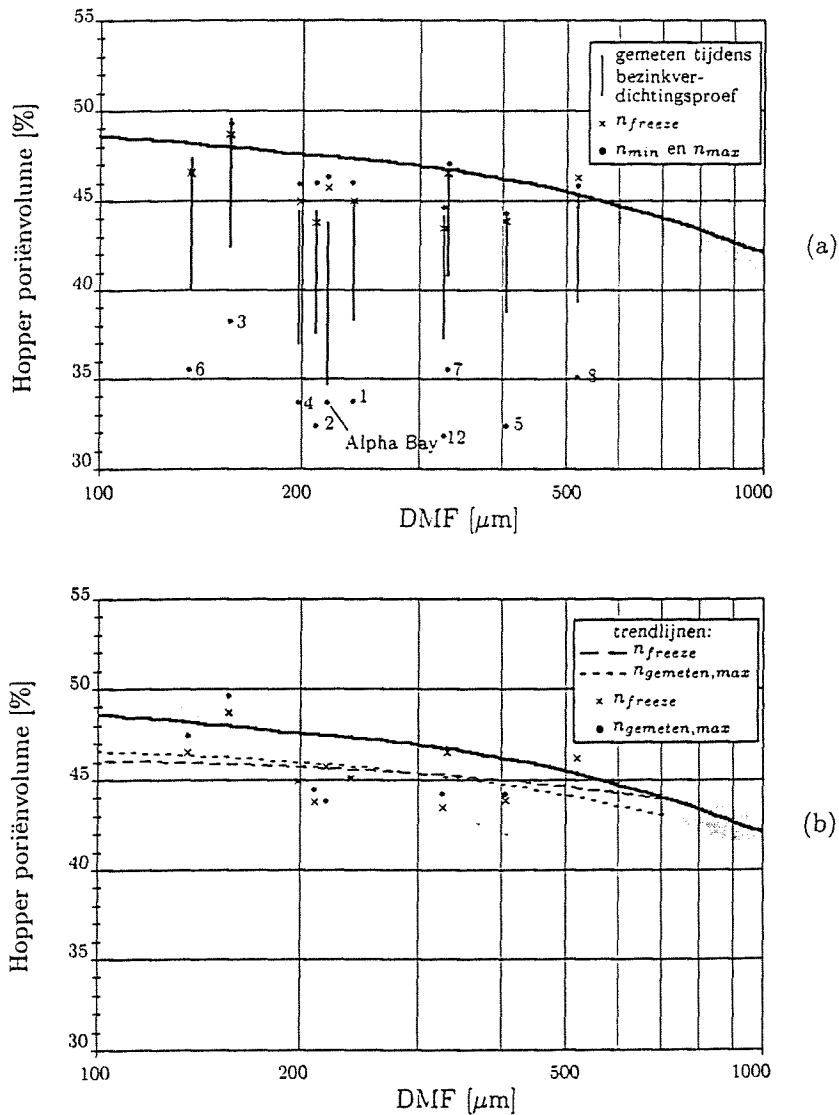
In deze grafiek is duidelijk te zien, dat bij twee zanden het beginporiënvolume van de bezinkverdichtingsproef samenvalt met de lijn in de grafiek. De overige zanden, met uitzondering van zand nummer 3, liggen 1 à 3 procenten poriënvolume onder die lijn.

Dit houdt in dat de praktijkgrafiek voor een aantal zandsoorten een te hoge schatting voor het poriënvolume in de beun oplevert.

Om dit beter te illustreren is in figuur 6.1(b) voor de gemeten beginporiënvolumes een trendlijn getekend. Die ligt lager dan de lijn uit de praktijk. Ook voor de poriënvolumes, berekend met de formule van Heeze en Van der Stap, is een trendlijn gemaakt. Deze trendlijn ligt ook lager dan de lijn uit de praktijk.

Uit dit beperkte onderzoek kan geconcludeerd worden dat de praktijk-grafiek, met name voor relatief fijne zanden, een schatting van een groter poriënvolume in de beun oplevert dan blijkt uit de laboratoriumproeven. De berekeningsmethode van Heezen en Van der Stap resulteert in een poriënvolume, dat dichterbij het maximale gemeten poriënvolume ligt en levert dus

ook hogere dichtheden op dan de praktijkcurve.



Figuur 6.1: Verificatie van praktijk-grafiek

### 6.3 Eindconclusies

De volgende conclusies kunnen naar aanleiding van dit rapport getrokken worden:

- het verloop van de grafiek, welke in de baggerpraktijk gebruikt wordt, wordt in grote lijnen bevestigd door de uitgevoerde laboratoriumproeven
- de schatting van het maximale insitu-poriënvolumen kan ook plaatsvinden door de berekeningsmethode van Heezen en Van der Stap te gebruiken; voor fijne zanden levert deze echter 2 à 3 % lager poriënvolumen op
- voor de eerste hypothese "naarmate de DMF toeneemt, treedt er minder vertraging in bezinkproces op" is geen bewijs gevonden

- de tweede hypothese "naarmate de  $DMF$  toeneemt, wordt er een dichtere pakking gerealiseerd" is wel bewezen

Verder kan geconcludeerd worden, dat er geen beunbezinkmodel beschikbaar is, dat alle processen zeer goed beschrijft. Het drielagen model levert tot nu toe wel de beste resultaten; het is bovendien eenvoudig in een spreadsheet te zetten. Hierbij moet worden aangemerkt, dat de bezinkmodellen voornamelijk zijn ontwikkeld om het laadproces zo economisch mogelijk te maken en dat deze modellen geen poriënvolume  $n$  opleveren. Bij een aantal modellen is het poriënvolume zelfs een invoerparameter.

### 6.4 Aanbevelingen

Voor verder onderzoek kunnen twee aanbevelingen gedaan worden.

Allereerst kan de bezinkverdichtingsproef op grotere schaal worden uitgevoerd om na te gaan of schaafeffecten een rol spelen. De invloed van de cilinderafmetingen en de glazen cilinderwand op de processen, die tijdens de bezinkverdichtingsproef een rol spelen, is namelijk onbekend. Als de schaal waarop de proef wordt uitgevoerd toeneemt, dan neemt de mogelijke invloed van de cilinderafmetingen en -wand op deze processen af.

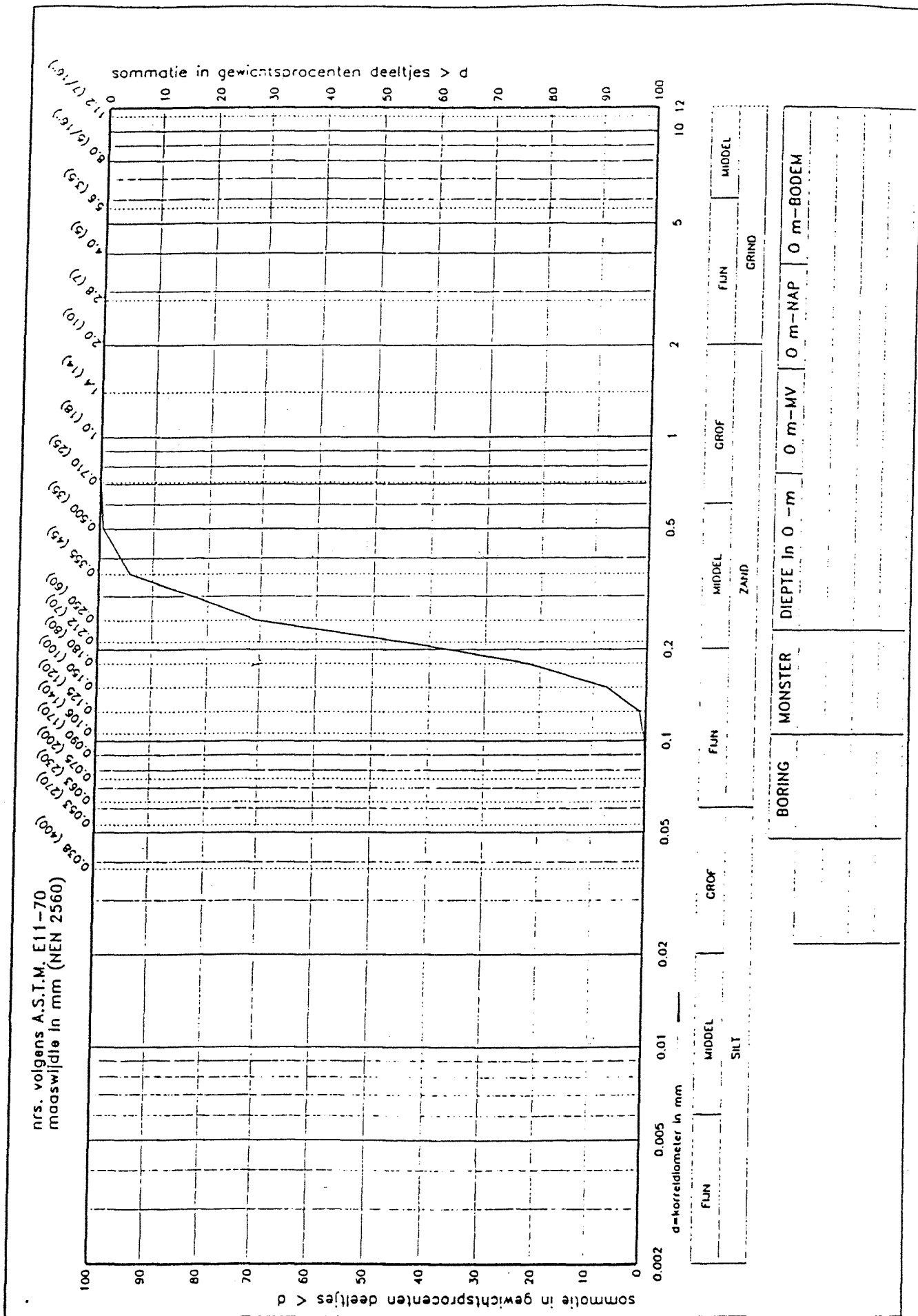
De tweede aanbeveling is het uitvoeren van meer veldproeven. Daarbij moeten dan echter wel alle parameters van de zanden worden bepaald, met name de  $DMF$ , uniformiteitscoëfficiënt en het minimale en maximale poriënvolume. Bij deze veldproeven moet ook geprobeerd worden om grovere zanden, dat wil zeggen met grotere waarden voor de  $DMF$ , dan die in het laboratorium beproefd zijn, te testen. Daarbij zal veel aandacht moeten worden besteed aan de registratie van de dichtheid van het zand in de beun. Hierbij moet rekening worden gehouden met de weersomstandigheden, omdat het vaker slingeren en stampen van het schip een positieve invloed heeft op de dichtheid in de beun. Tevens moet rekening worden gehouden met het onder water staan van de lading. De gekozen meetmethode moet dan nog steeds toepasbaar zijn. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een vaste dichtheidsmeting in de beun of er kan gebruik gemaakt worden van sonderingen, die met de correlatie tussen de relatieve dichtheid-conusweerstand geïnterpreteerd kunnen worden.

# Bijlage I

## Korrelverdelingen zandmonsters

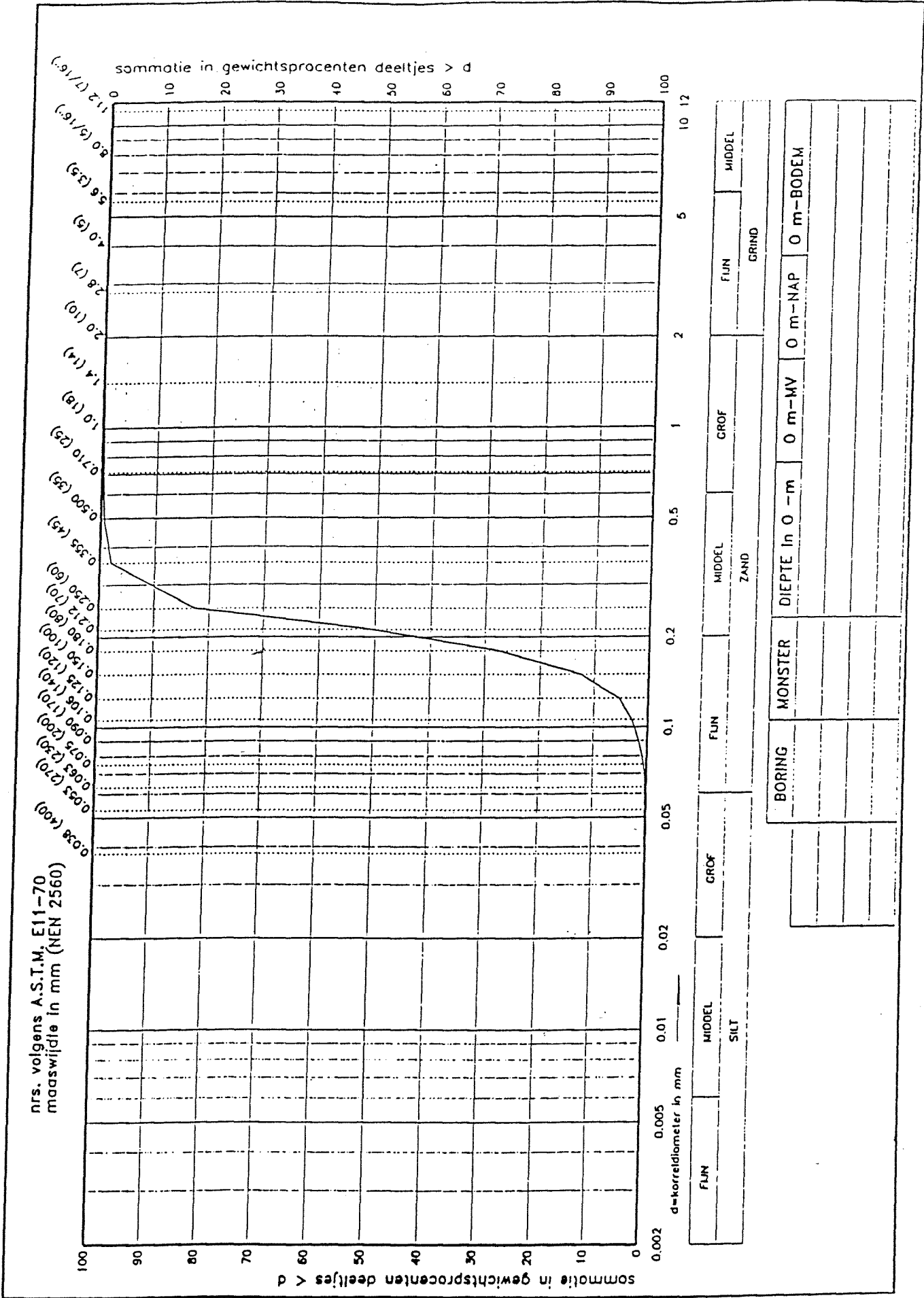
Op de volgende bladzijden staan de korrelverdelingen van de verschillende zanden. Hieronder worden deze nogmaals opgesomd met bijbehorend monsternummer.

- 1 WL A
- 2 WL B
- 3 WL C
- 4 WL D
- 5 WL E
- 6 Baskarp
- 7 Sylt
- 8 Metselzand
- 9 Zeefzand
- 10 Amerongen
- 11 Zeyen
- 12 Rijsbergen
- 13 Glasparels
- 14 Brekerzand
- 15 Alpha Bay

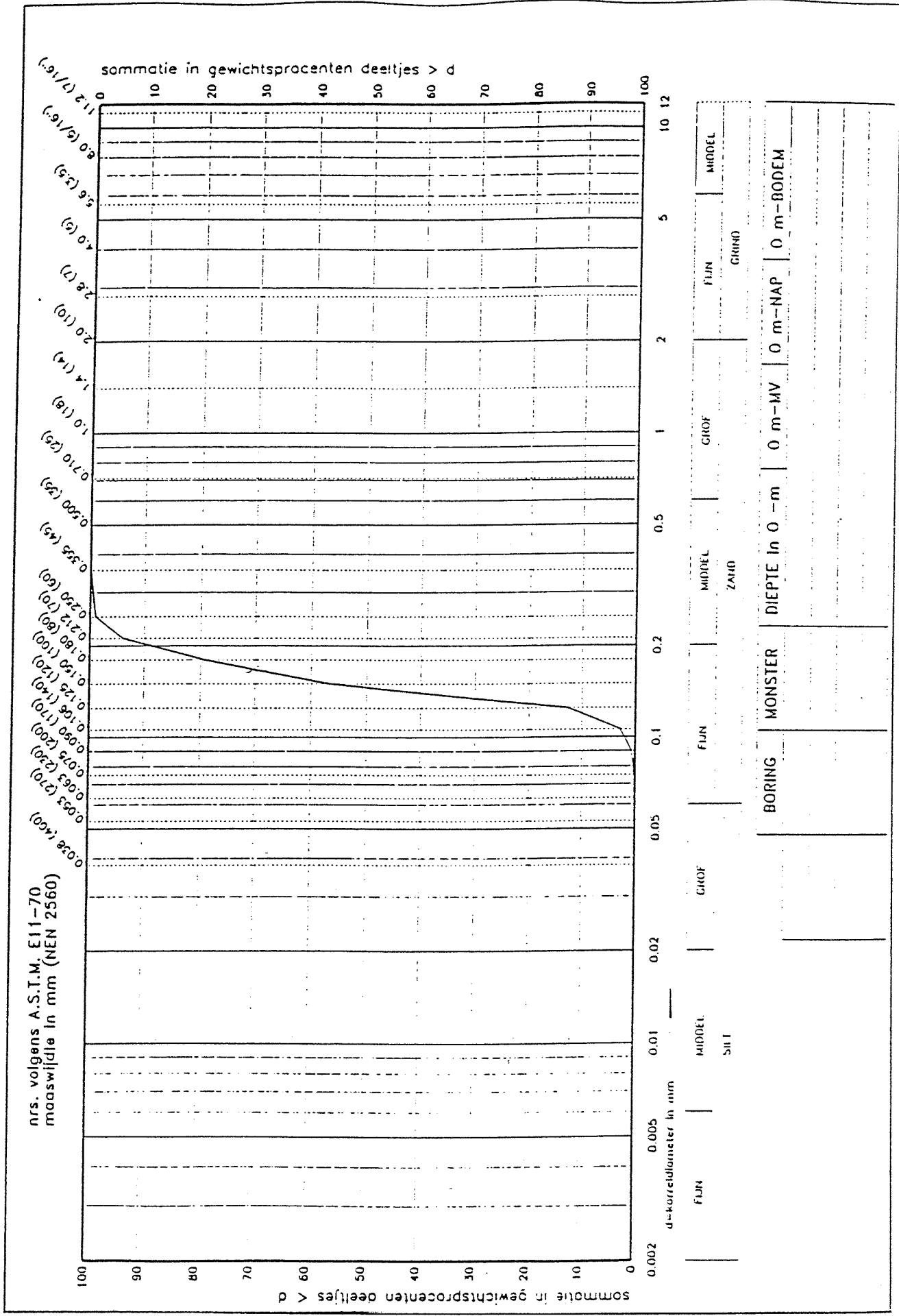


Figuur I.i: Zeefkromme WL-A

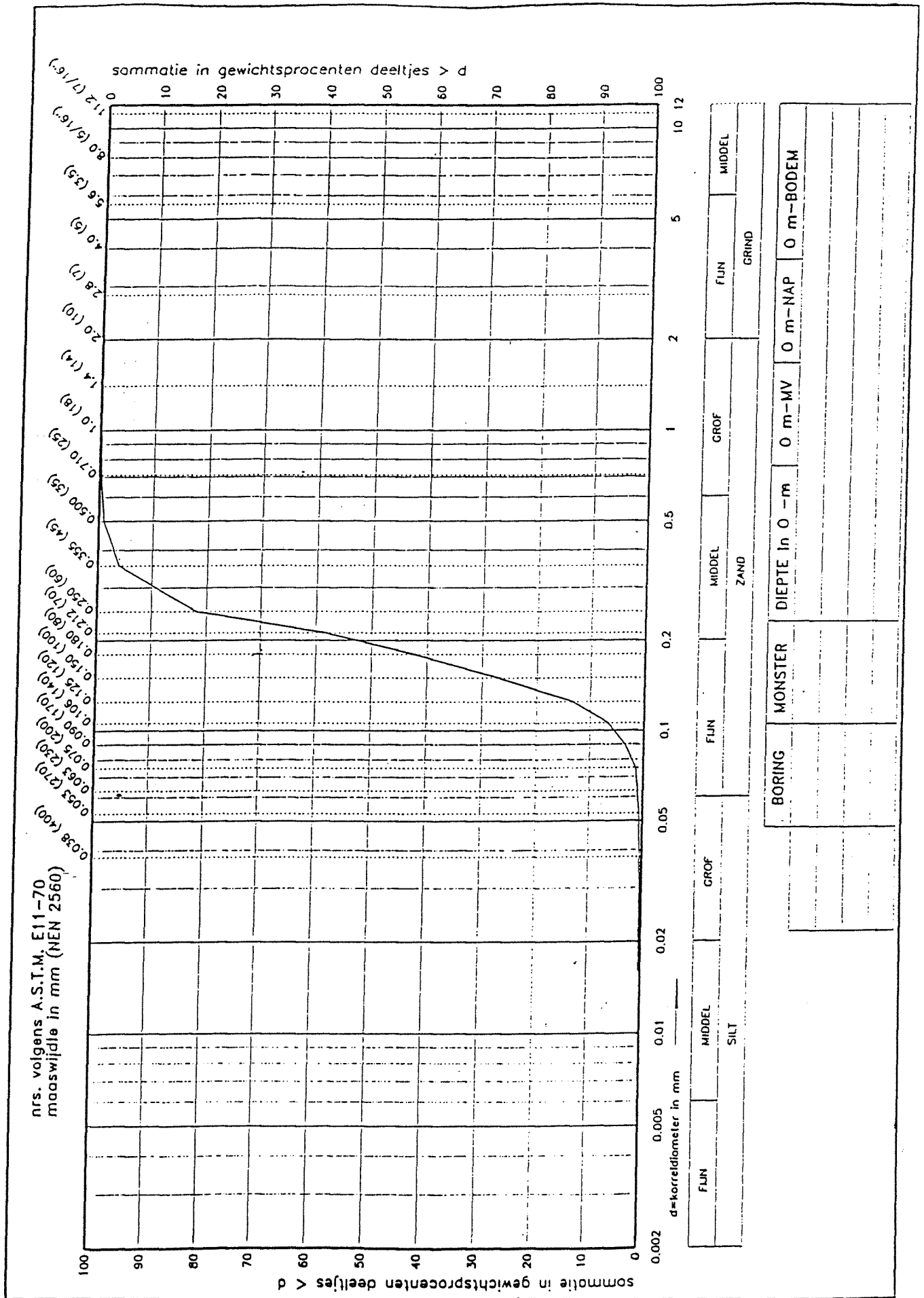




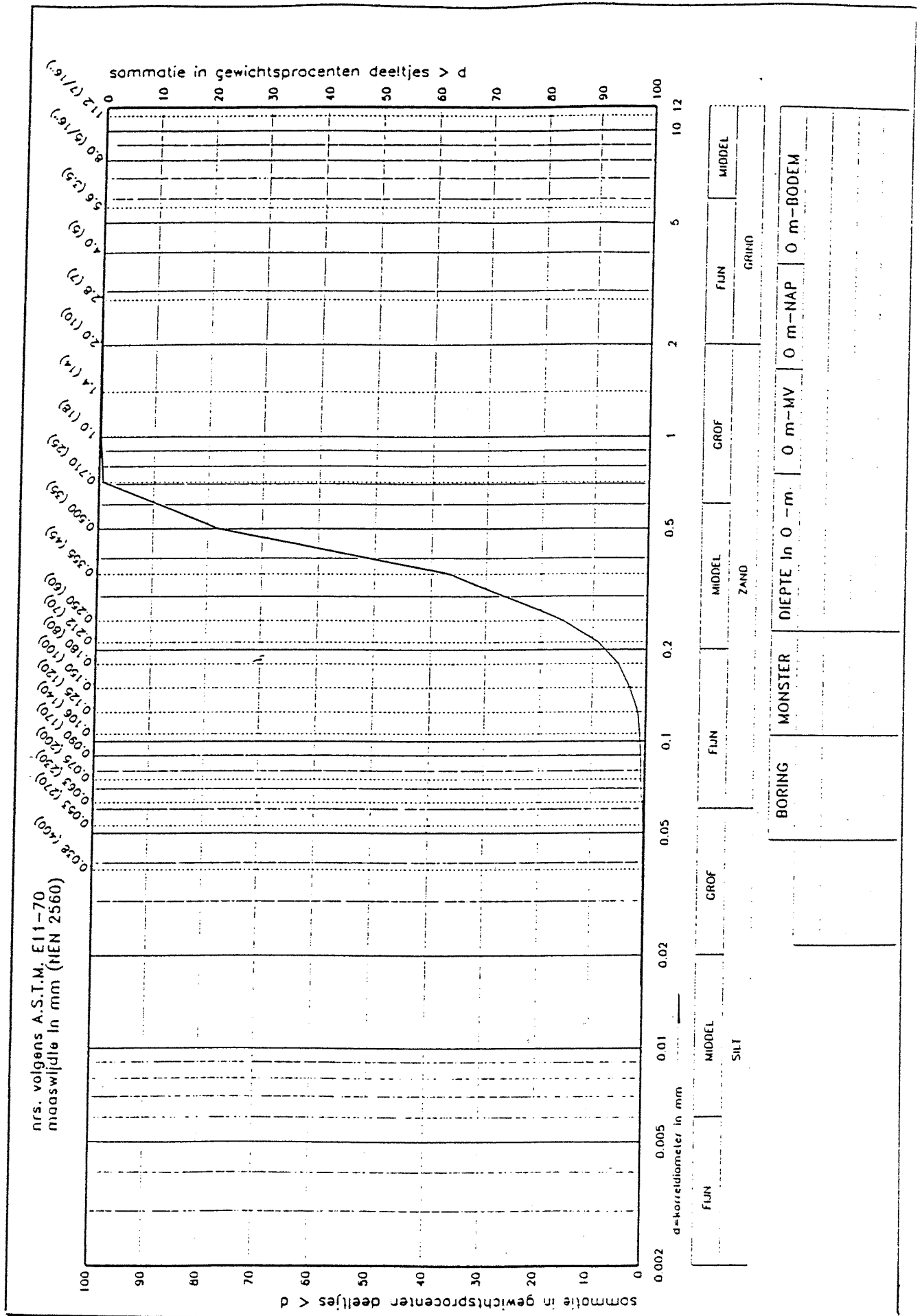
Figuur I.ii: Zeezkromme WL-B



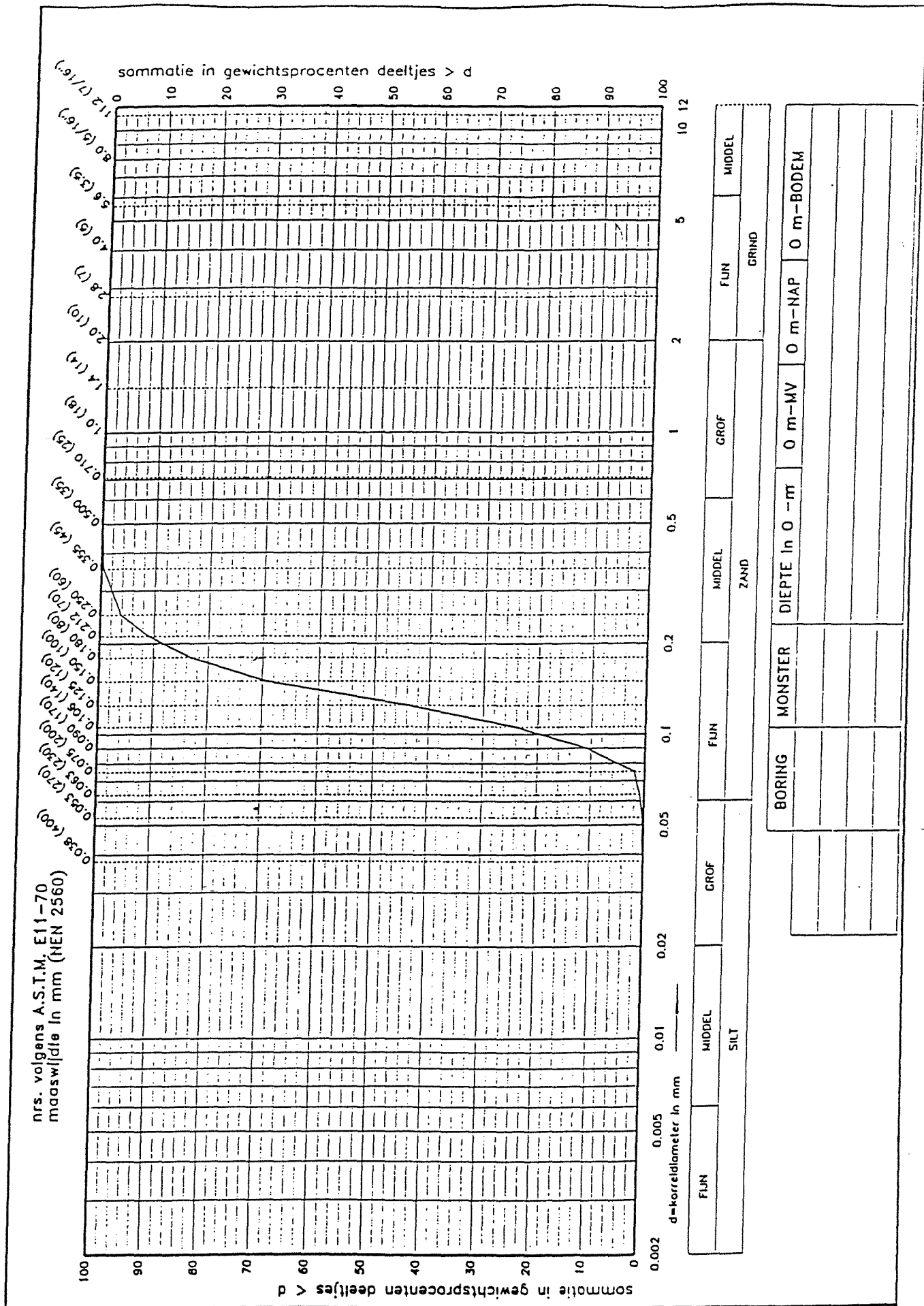
Figuur L.iii: Zeefkromme WL-C



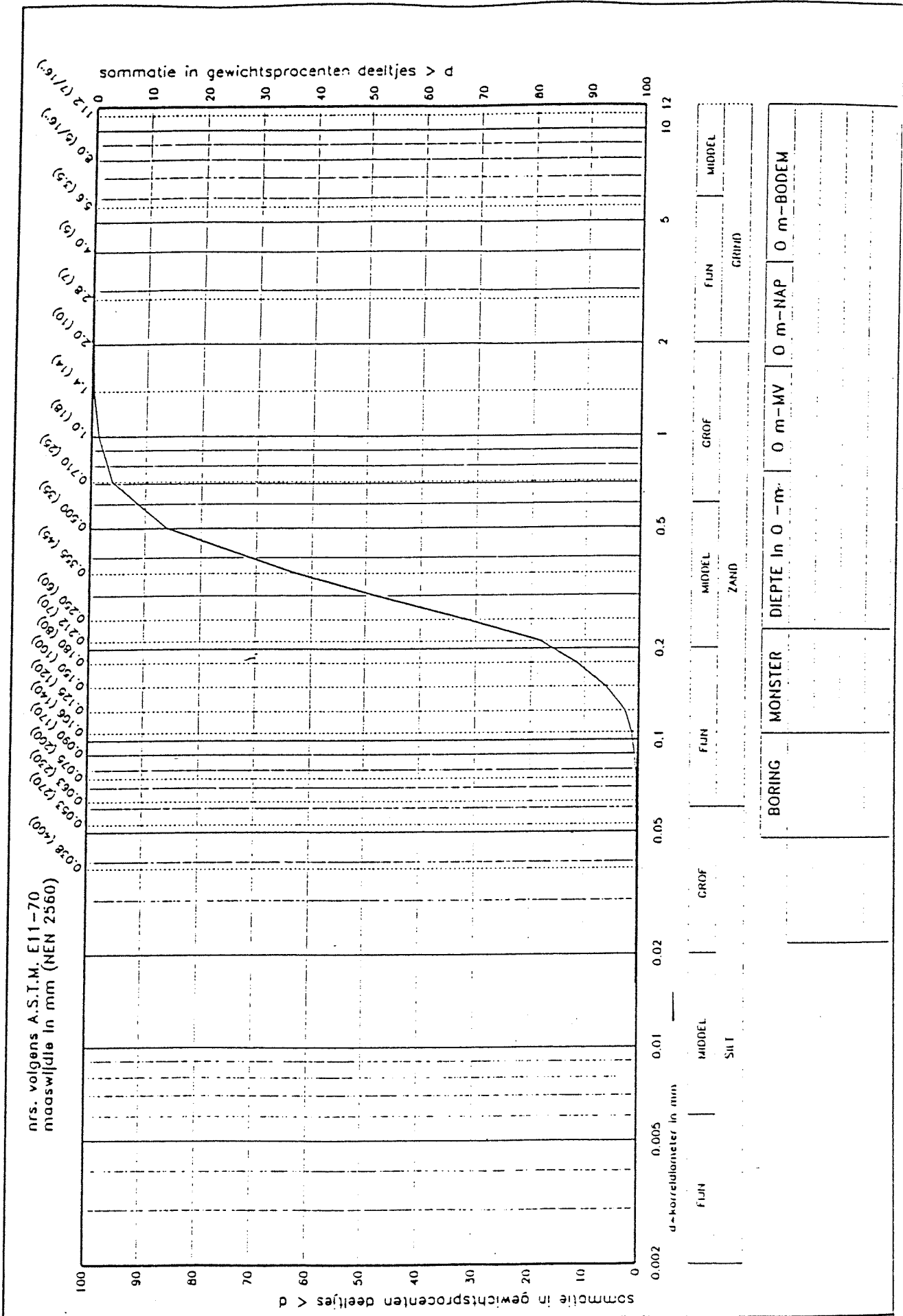
Figuur I.iv: Zeefkromme WL-D



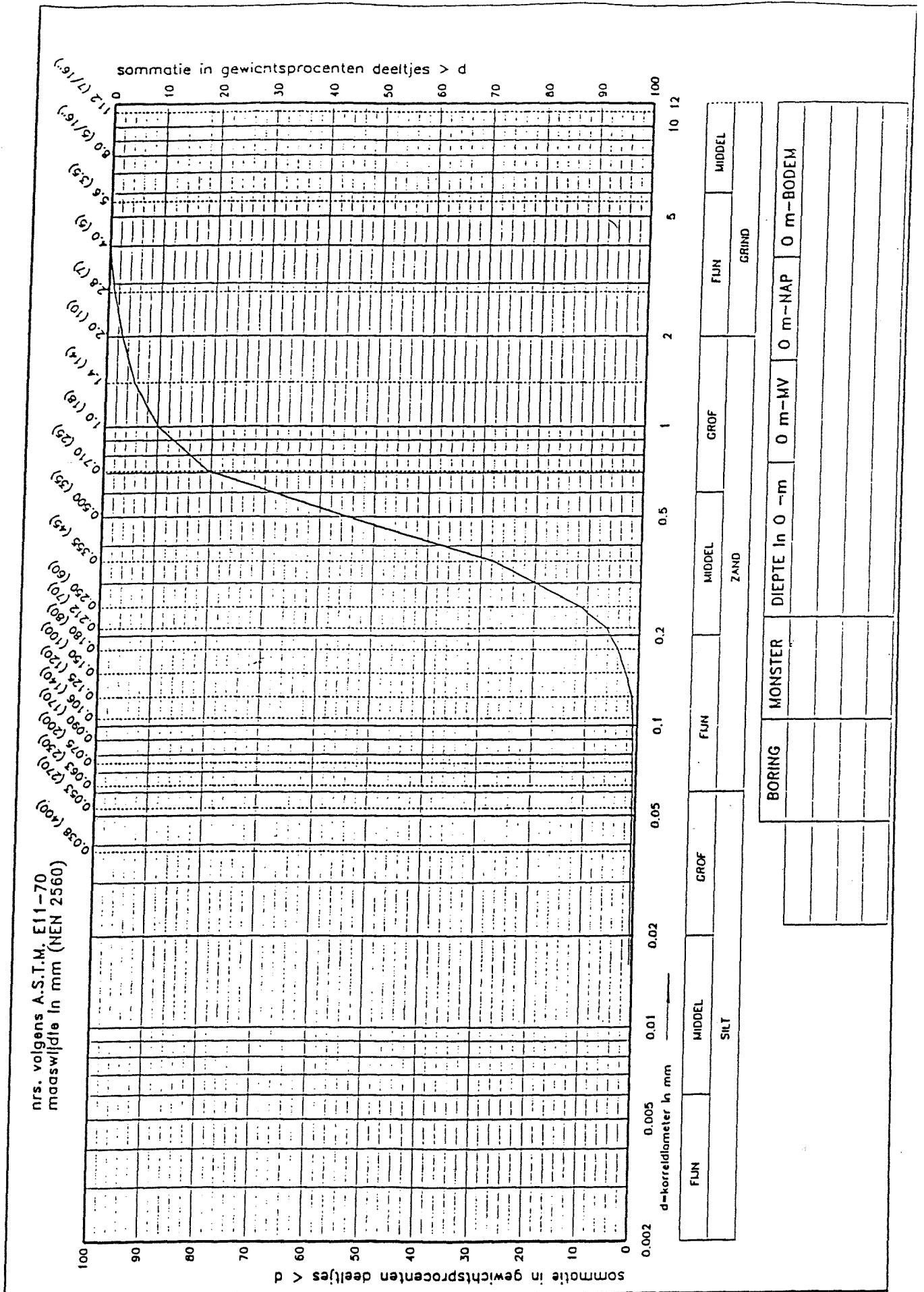
Figuur I.v: Zeefkromme WL-E



Figuur I.vi: Zeefkromme Baskarp

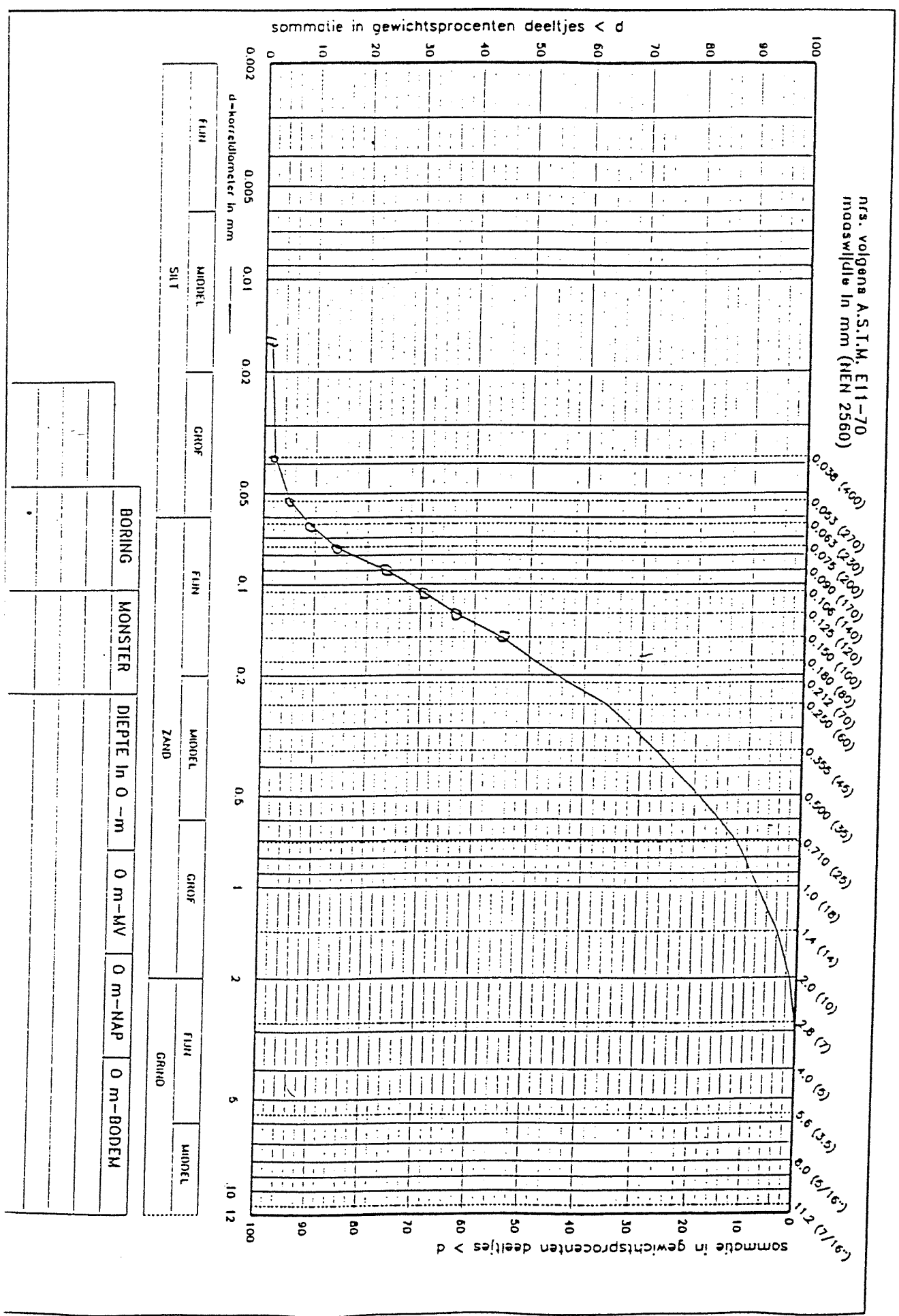


Figuur I.vii: Zeefkromme Sylt

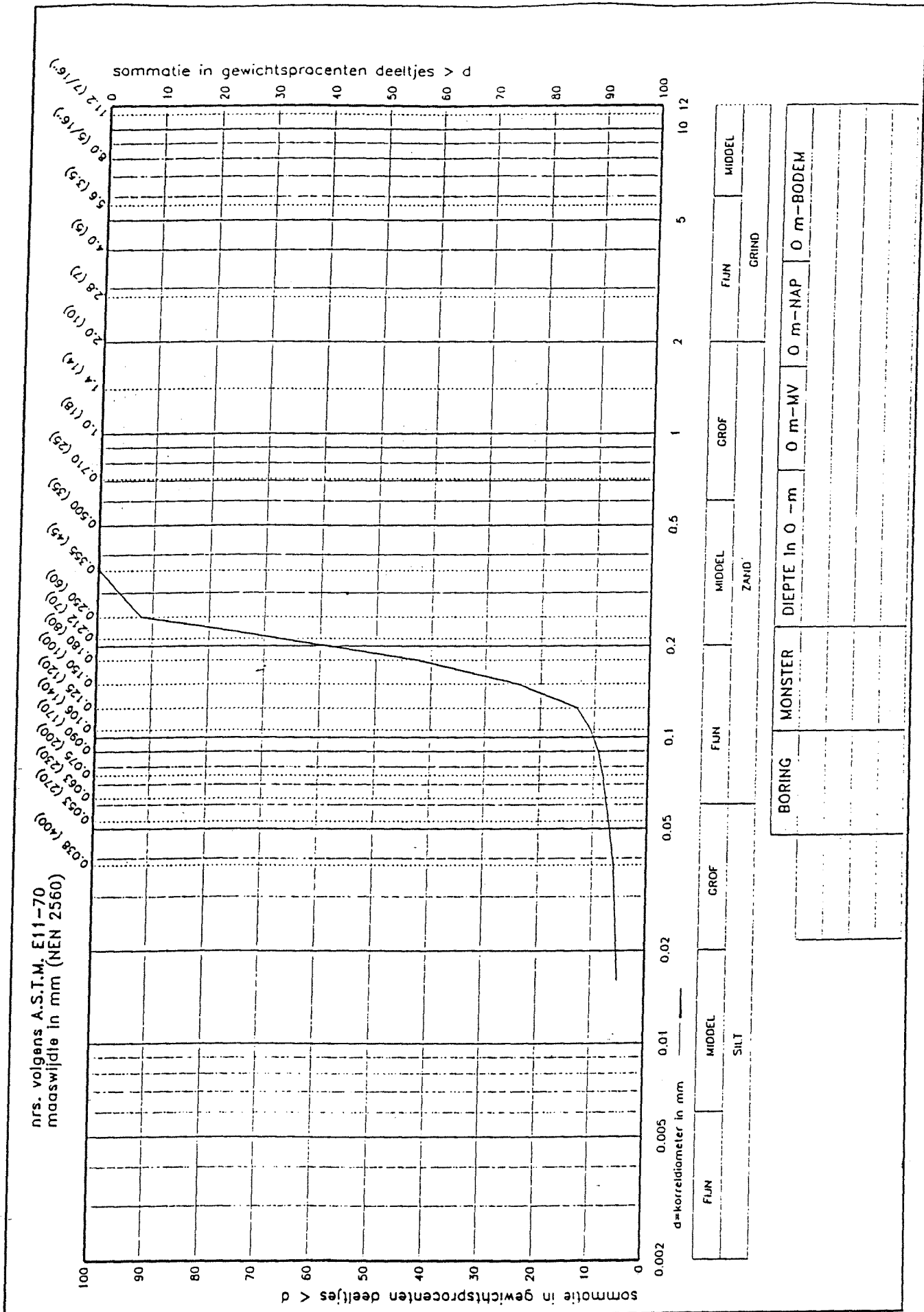


Figuur I.viii: Zeefkromme Metselzand

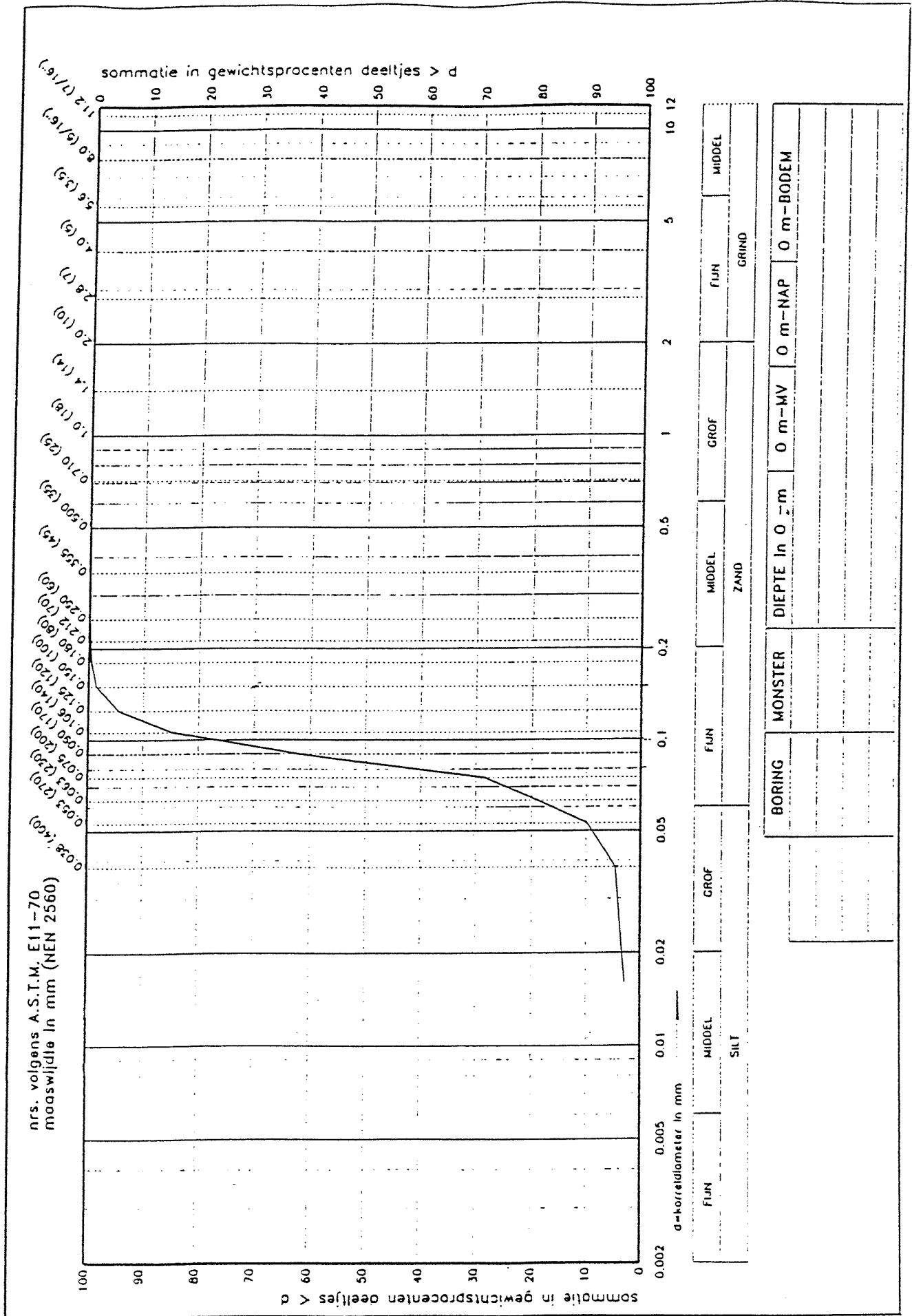
Figuur I.x: Zeekromme Zeezand



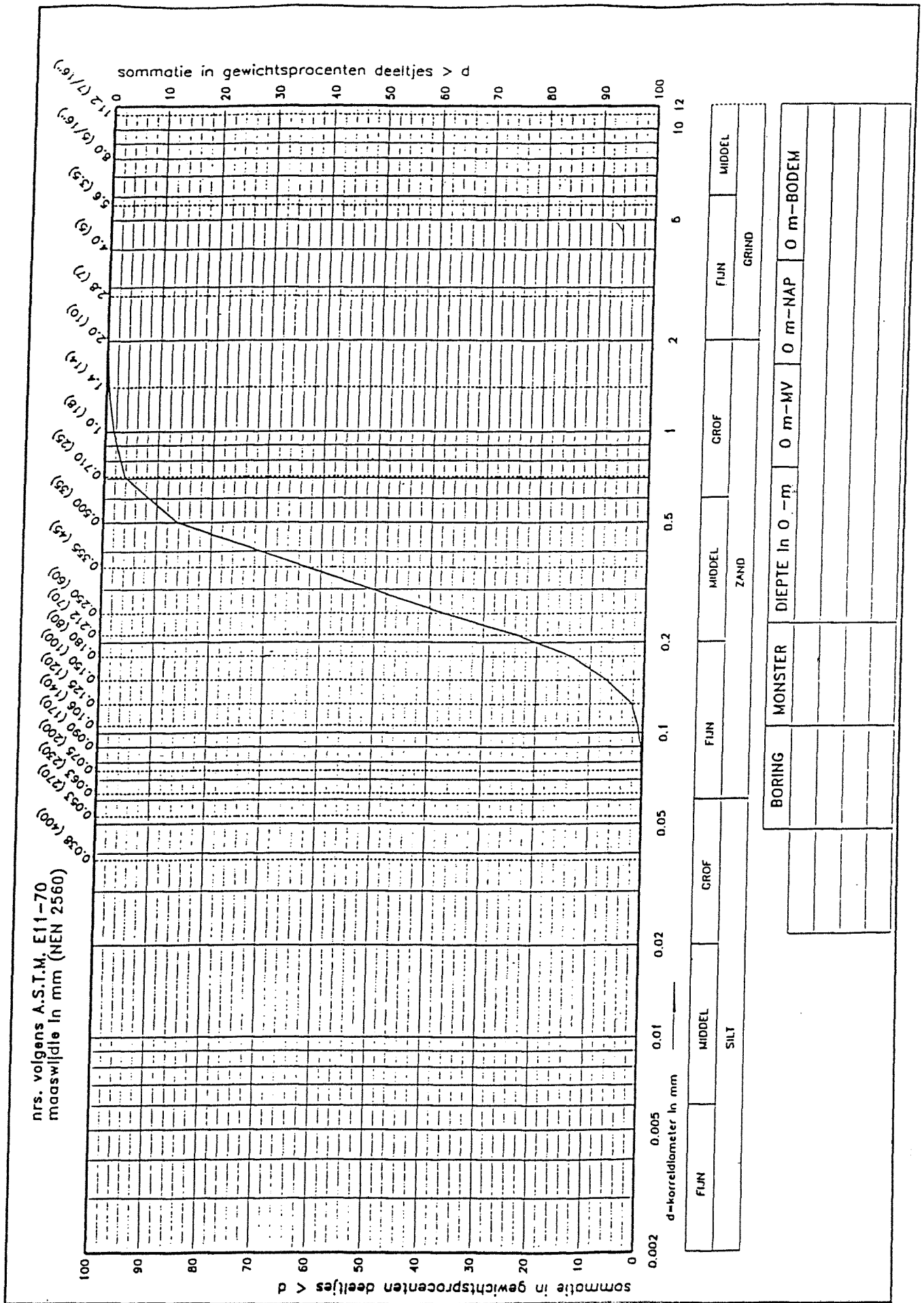




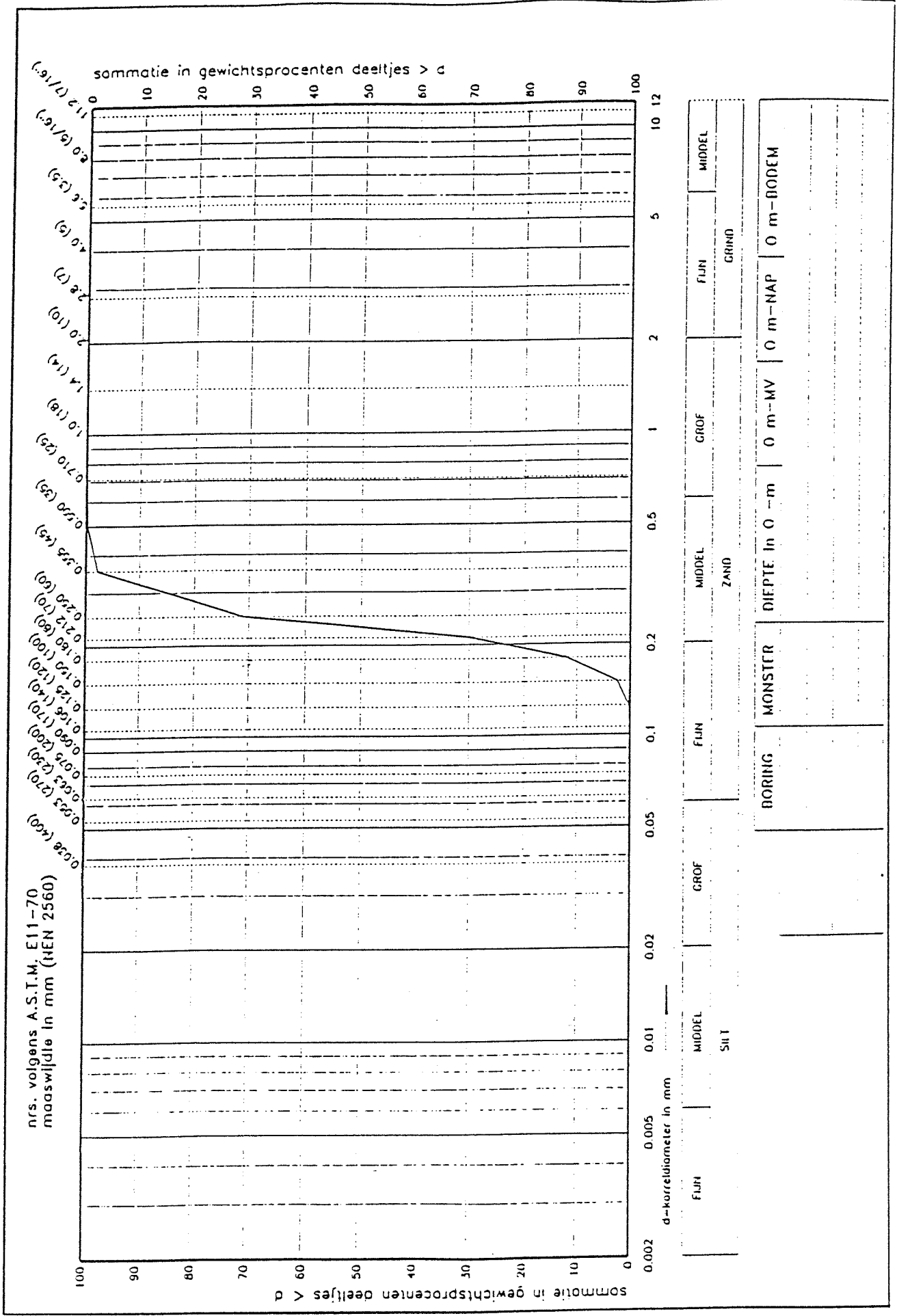
Figuur I.x: Zeefkromme Amerongen



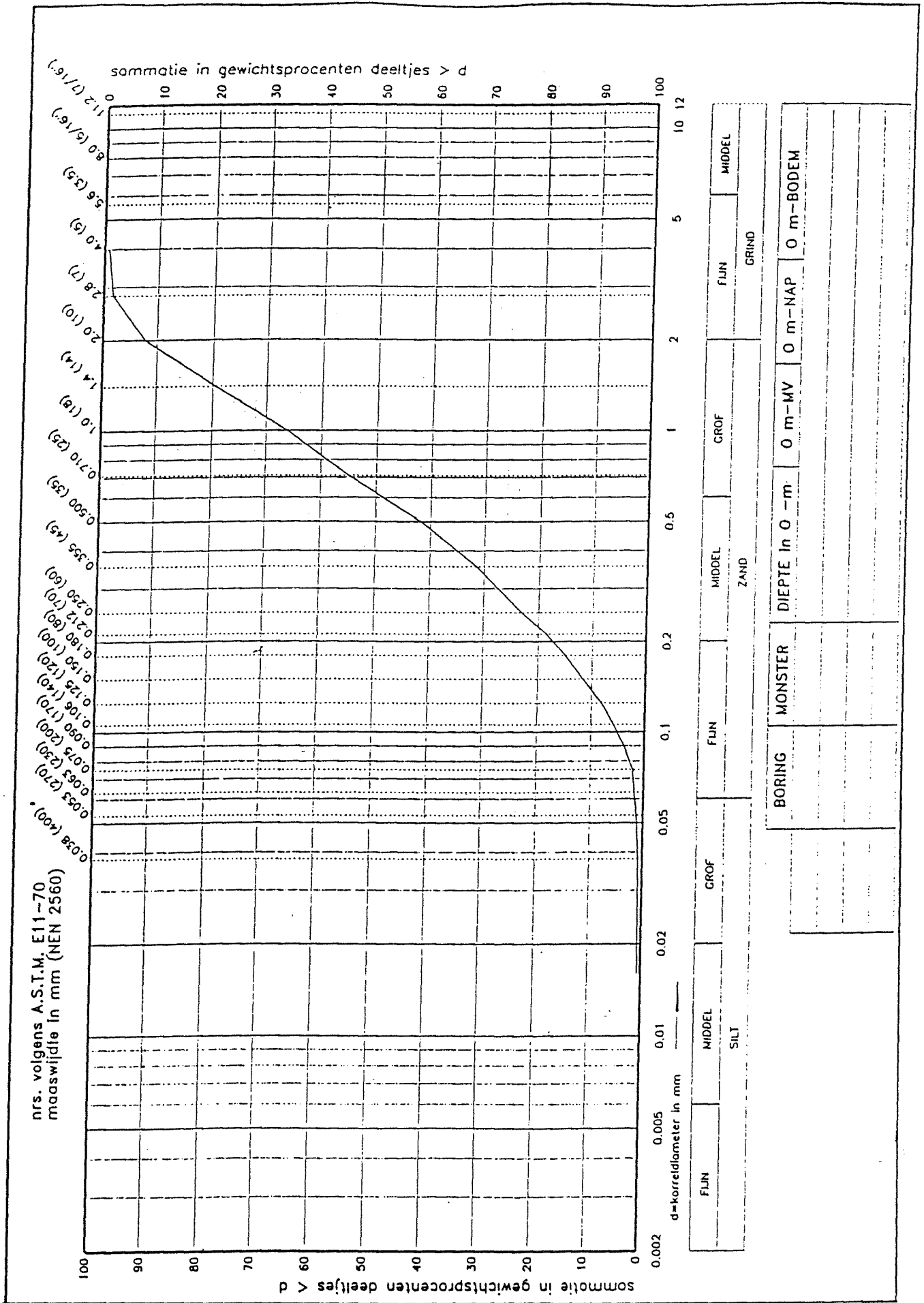
Figuur I.xi: Zeefkromme Zeyenzand



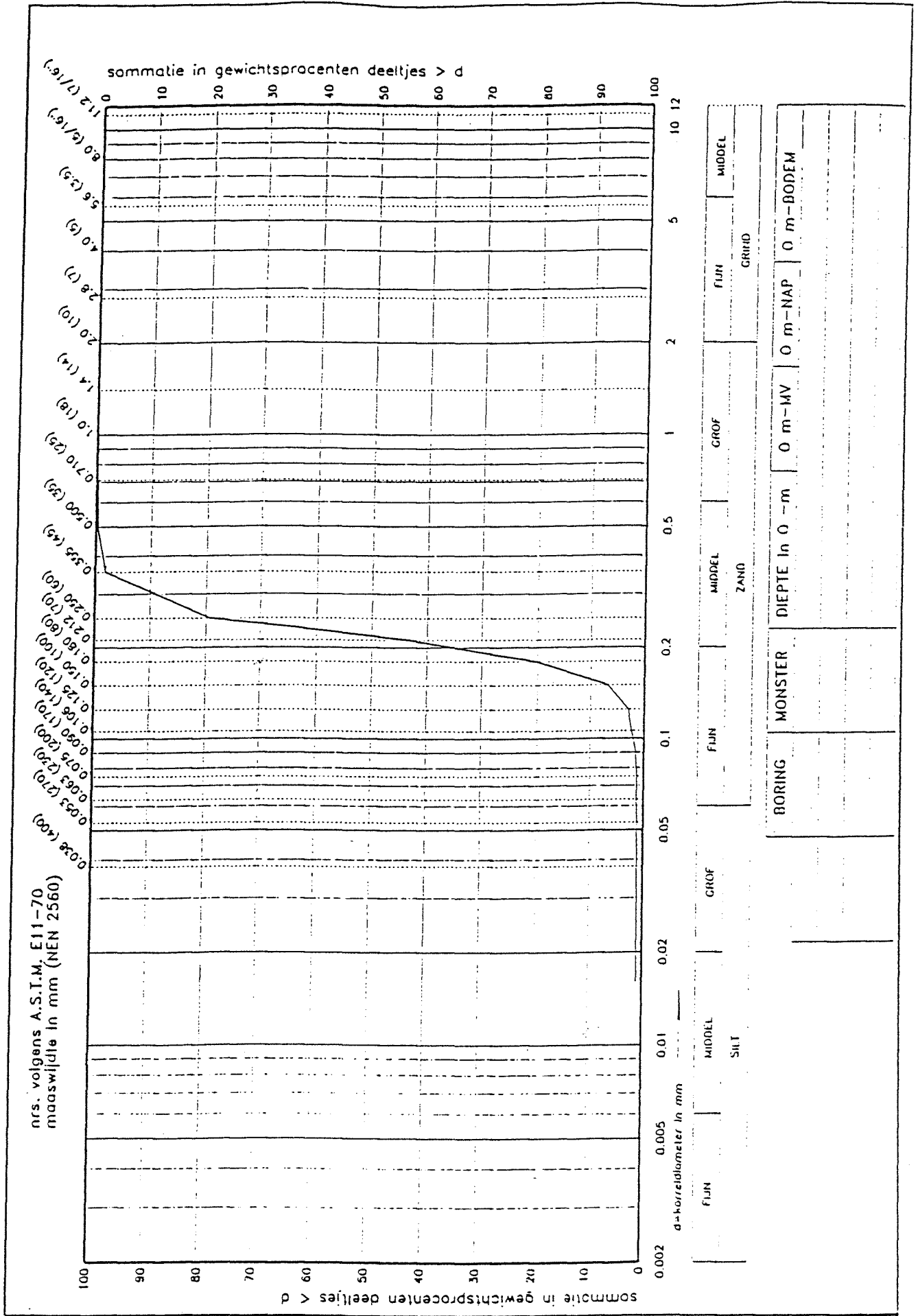
Figuur I.xii: Zeefkromme Rijbergen



Figuur I.xiii: Zeefkromme Glaspereels



Figuur I.xiv: Zeefkromme Brekerzand



Figuur I.xv: Zeefkromme Alpha Bay

## Bijlage II

# Methode GeoDelft voor bepalen minimum en maximum dichtheid

### Werkwijze

#### Vorbereiden monster

In het geval dat het monster zout bevat, dient dit eerst te worden ontzout.

Het (ontzoute) monster wordt in een droogstoof bij  $105^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  24 uur gedroogd.

Het gedroogde monster wordt in een mortelmenger met behulp van een rubber stop zorgvuldig gemengd en tevens worden de eventueel aanwezige kluitjes fijngemaakt.

#### Proef voor de minimale dichtheid of het maximale poriënvolume

Een trechter met een verlengpijpje (inwendig  $\phi 17mm$ ) wordt op zodanige wijze in een glazen maatcilinder ( $1000cm^3$ ; inwendig  $\phi 60mm$ ) gehouden dat het onderend van het pijpje op de bodem van de cilinder rust.

Hierna wordt het pijpje en de trechter met het desbetreffende monster volgeschept.

Vervolgens worden pijpje en trechter langzaam omhoog getrokken.

Als al het materiaal uit het pijpje is gezakt moet het bovenvlak zo glad mogelijk worden afgewerkt. Hierbij moet uiteraard zodanig met de gevulde cilinder worden omgegaan dat de opgebouwde korrelstapelning niet verandert. Het volume en het gewicht kan nu worden bepaald.

Uit de verkregen gegevens en de soortelijke massa van het monsternormaal kan het **maximale poriënvolume** van het monster worden berekend en dus is de **minimale dichtheid** bekend.

#### Proef voor de maximale dichtheid of het minimale poriënvolume

Hierna wordt hetzelfde monster in laagjes (2,5cm dik) in een messing cilinder (150mm hoog; inwendig  $\phi 66,7mm$ ; inhoud  $528,0cm^3$ ; wanddikte 1mm) opgebouwd, waarbij elk laagje wordt verdicht. Bij het verdichten van een laagje wordt eerst getikt en daarna getrild met een trilapparaat.

Het volume en het gewicht moeten nu worden bepaald.

Uit de verkregen gegevens en de soortelijke massa van het monsternormaal kan het **minimale poriënvolume** van het monster worden berekend en dan is de **maximale dichtheid** ook bekend.





## Bijlage III

# Methode VVS voor bepalen van de scherpte van zand

De methode is gebaseerd op de toepassing van een standaardtrechter, waarin een bepaalde hoeveelheid droog zand wordt gedeponeerd, terwijl de uitstroomopening nog gesloten is. Als vervolgens de trechtermond wordt geopend en het zand gaat uitstromen, dan is de tijd die daarbij verstrijkt een maat voor de 'scherpte'. De uitstroomtijd van afgerond zand is kort, terwijl hoekig zand een langere uitstroomtijd behoeft.

In tegenstelling tot andere methoden is van twee referentiematerialen uitgegaan, namelijk een uiterst rond materiaal, glasparels, en een uiterst hoekig brekerzand.

De uitstroomtrechter die is gebruikt, heeft een uitstroomopening met een diameter van 6.4 mm.

Voor beide referentiematerialen wordt het verband tussen de uitstroomtijd en het uitstroomvolume bepaald. Nu wordt de lijn voor glasparels opgevat als 0% scherp en de lijn voor brekerzand als 100% scherp.

Van een willekeurige zandsoort kan nu de uitstroomscherpte VVS bepaald worden door de uitstroomtijd  $t_u$  voor een bepaald volume  $V_x$  te relateren aan de uitstroomtijden van glasparels en brekerzand voor dat gelijke volume.

In formulevorm:

$$VVS = \frac{t_u - t_{u,glsp.}}{t_{u,br.z.} - t_{u,glsp.}} \times 100\%$$

De testhoeveelheid is niet aan nauwe grenzen gebonden, aangezien deze verwerkt zit in deze Scherpformule. Als richtlijn kan een hoeveelheid van 150 gram worden genoemd.

Met behulp van bovenvermelde formule kan voor de verschillende zanden de scherpte worden bepaald.



## Bijlage IV

# Meetresultaten bezinkverdichtingsproef

Op de de volgende pagina's staan de meetresultaten van de verdichtingsproeven grafisch weergegeven. De gebruikte relatieve verdichtingsenergie is zowel tegen het poriënvolume als de relatieve dichtheid uitgezet.

Hieronder staat de legenda van de verschillende lijnen weergezet.

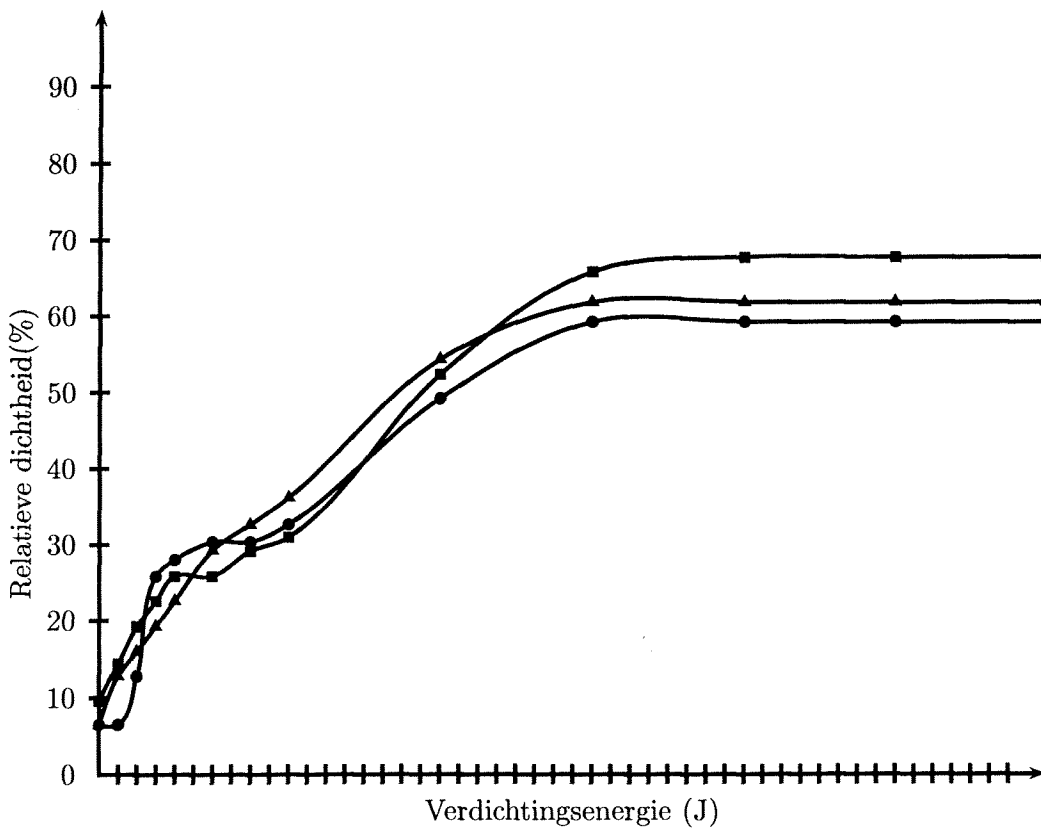
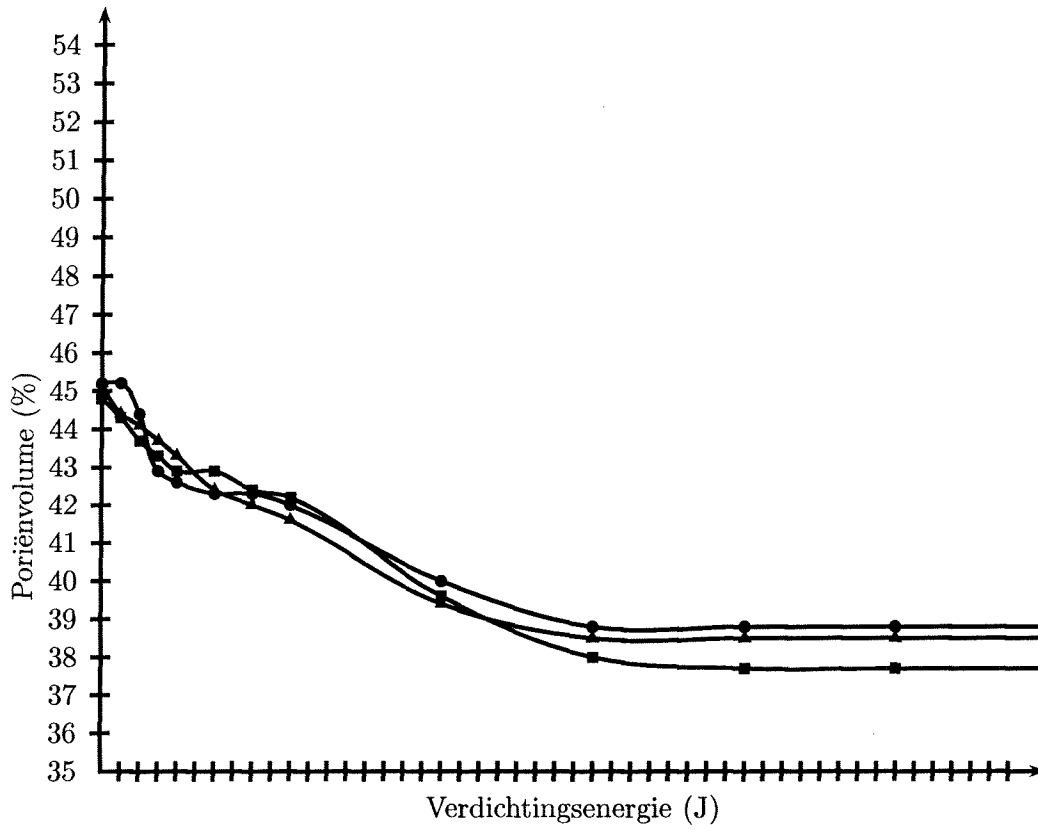
- ▲— Volume concentratie van 10 %
- Volume concentratie van 20 %
- Volume concentratie van 30 %

*BEUNBEZINKPROCESSEN*

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	<i>V<sub>t</sub></i> (ml)	<i>n<sub>situ</sub></i> (%)	<i>D<sub>r</sub></i> (%)	<i>V<sub>t</sub></i> (ml)	<i>n<sub>situ</sub></i> (%)	<i>D<sub>r</sub></i> (%)	<i>V<sub>t</sub></i> (ml)	<i>n<sub>situ</sub></i> (%)	<i>D<sub>r</sub></i> (%)	<i>V<sub>t</sub></i> (ml)	<i>n<sub>situ</sub></i> (%)	<i>D<sub>r</sub></i> (%)	<i>V<sub>t</sub></i> (ml)	<i>n<sub>situ</sub></i> (%)	<i>D<sub>r</sub></i> (%)
0															
1	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
2	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
3	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
4	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
5	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
6	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
7	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
8	182,5	45,2	6,5	182,5	45,2	6,5	362,5	44,8	9,6	362,5	44,8	9,6	547,5	45,2	6,5
9	180,0	44,4	12,8	180,0	44,4	12,8	357,5	44,1	15,9	360,0	44,4	12,8	547,5	45,2	6,5
10	180,0	44,4	12,8	180,0	44,4	12,8	357,5	44,1	15,9	360,0	44,4	12,8	547,5	45,2	6,5
11	180,0	44,4	12,8	180,0	44,4	12,8	357,5	44,1	15,9	360,0	44,4	12,8	547,5	45,2	6,5
12	180,0	44,4	12,8	180,0	44,4	12,8	357,5	44,1	15,9	360,0	44,4	12,8	547,5	45,2	6,5
13	177,5	43,7	19,2	180,0	44,4	12,8	352,5	43,3	22,4	357,5	44,1	15,9	540,0	44,4	12,8
14	177,5	43,7	19,2	180,0	44,4	12,8	352,5	43,3	22,4	357,5	44,1	15,9	540,0	44,4	12,8
15	177,5	43,7	19,2	180,0	44,4	12,8	352,5	43,3	22,4	357,5	44,1	15,9	540,0	44,4	12,8
16	177,5	43,7	19,2	180,0	44,4	12,8	352,5	43,3	22,4	357,5	44,1	15,9	540,0	44,4	12,8
17	177,5	43,7	19,2	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	355,0	43,7	19,2	525,0	42,9	25,8
18	177,5	43,7	19,2	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	355,0	43,7	19,2	525,0	42,9	25,8
19	177,5	43,7	19,2	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	355,0	43,7	19,2	525,0	42,9	25,8
20	177,5	43,7	19,2	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	355,0	43,7	19,2	525,0	42,9	25,8
21	175,0	42,9	25,8	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	522,5	42,6	28,0
22	175,0	42,9	25,8	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	522,5	42,6	28,0
23	175,0	42,9	25,8	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	522,5	42,6	28,0
24	175,0	42,9	25,8	177,5	43,7	19,2	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	522,5	42,6	28,0
25	172,5	42,0	32,5	175,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	520,0	42,3	30,3
26	172,5	42,0	32,5	175,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	520,0	42,3	30,3
27	172,5	42,0	32,5	175,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	520,0	42,3	30,3
28	172,5	42,0	32,5	175,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	350,0	42,9	25,8	520,0	42,3	30,3
29	172,5	42,0	32,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	347,5	42,4	29,1	520,0	42,3	30,3
30	172,5	42,0	32,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	347,5	42,4	29,1	520,0	42,3	30,3
31	172,5	42,0	32,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	347,5	42,4	29,1	520,0	42,3	30,3
32	172,5	42,0	32,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	347,5	42,4	29,1	520,0	42,3	30,3
33	170,0	41,2	39,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	345,0	42,0	32,5	517,5	42,0	32,5
34	170,0	41,2	39,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	345,0	42,0	32,5	517,5	42,0	32,5
35	170,0	41,2	39,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	345,0	42,0	32,5	517,5	42,0	32,5
36	170,0	41,2	39,5	172,5	42,0	32,5	347,5	42,4	29,1	345,0	42,0	32,5	517,5	42,0	32,5
37	167,5	40,3	46,7	162,5	38,5	61,8	330,0	39,4	54,1	332,5	39,8	50,4	500,0	40,0	49,2
38	167,5	40,3	46,7	162,5	38,5	61,8	330,0	39,4	54,1	332,5	39,8	50,4	500,0	40,0	49,2
39	167,5	40,3	46,7	162,5	38,5	61,8	330,0	39,4	54,1	332,5	39,8	50,4	500,0	40,0	49,2
40	167,5	40,3	46,7	162,5	38,5	61,8	330,0	39,4	54,1	332,5	39,8	50,4	500,0	40,0	49,2
41	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	325,0	38,5	61,8	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
42	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	325,0	38,5	61,8	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
43	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	325,0	38,5	61,8	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
44	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	325,0	38,5	61,8	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
45	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
46	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
47	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
48	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
49	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
50	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
51	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
52	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
53	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
54	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
55	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
56	162,5	38,5	61,8	162,5	38,5	61,8	322,5	38,0	65,7	320,0	37,5	69,7	490,0	38,8	59,2
57															
58															
59															
60															

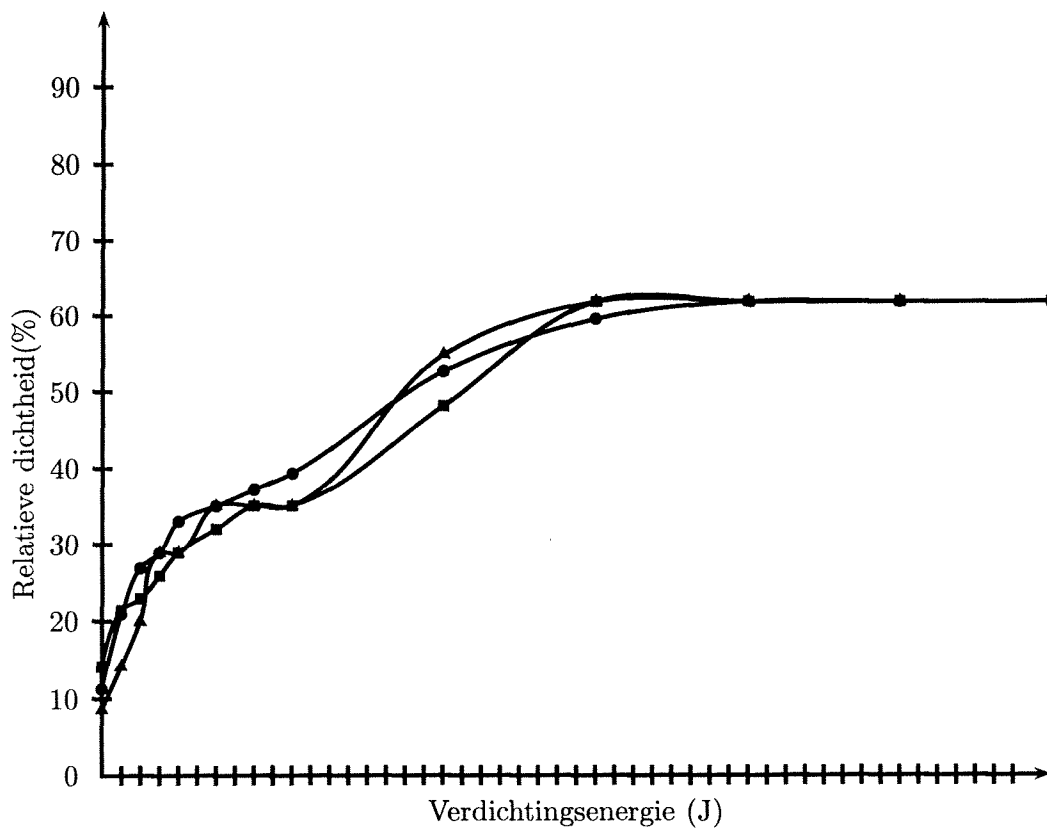
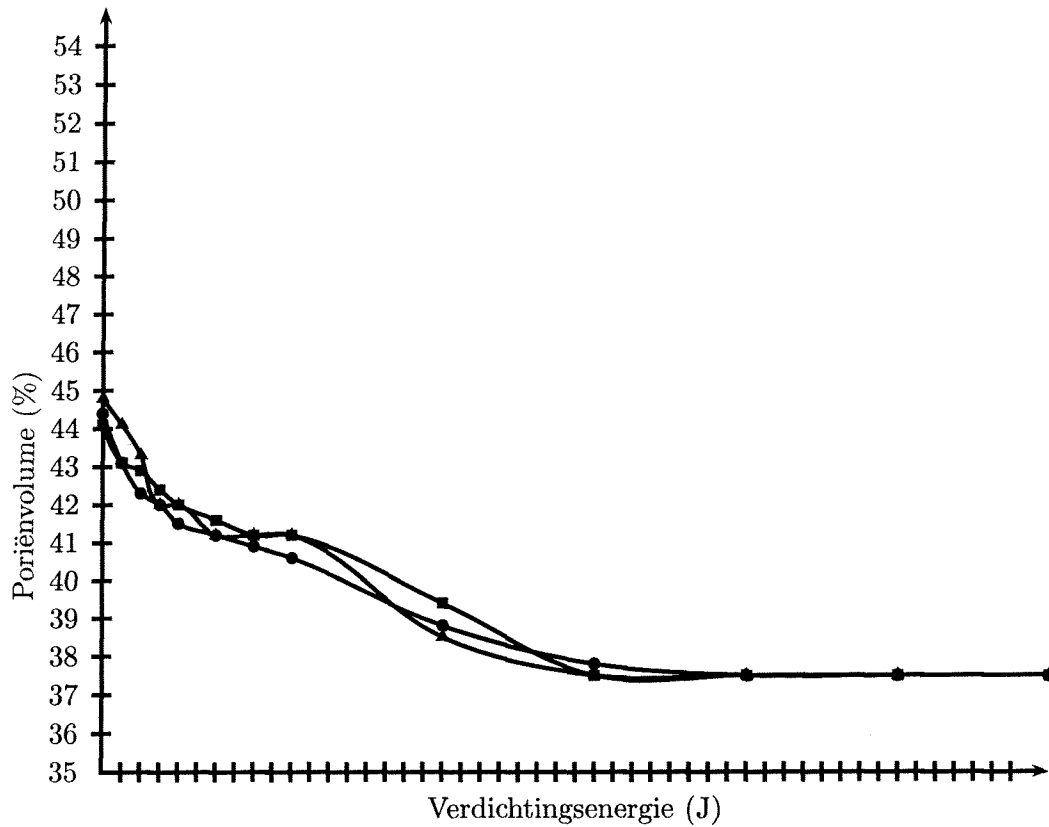
Tabel IV.i: Meetgegevens WL-A

1: WL-A





2: WL-B



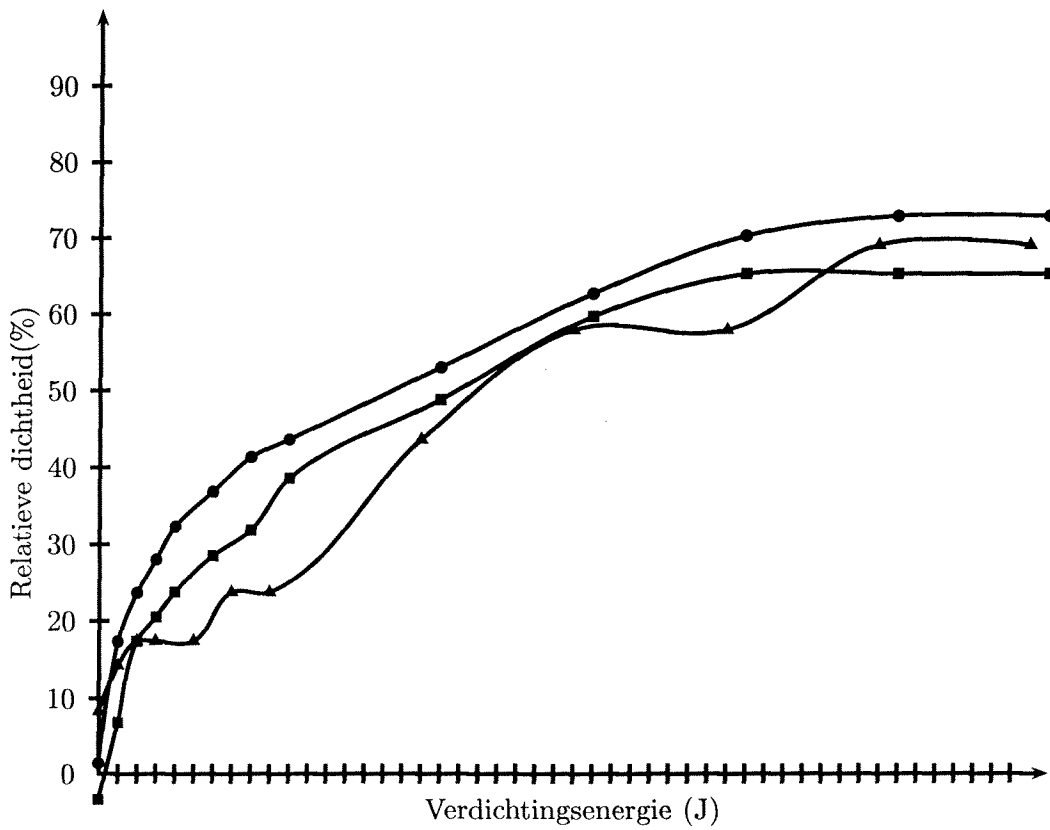
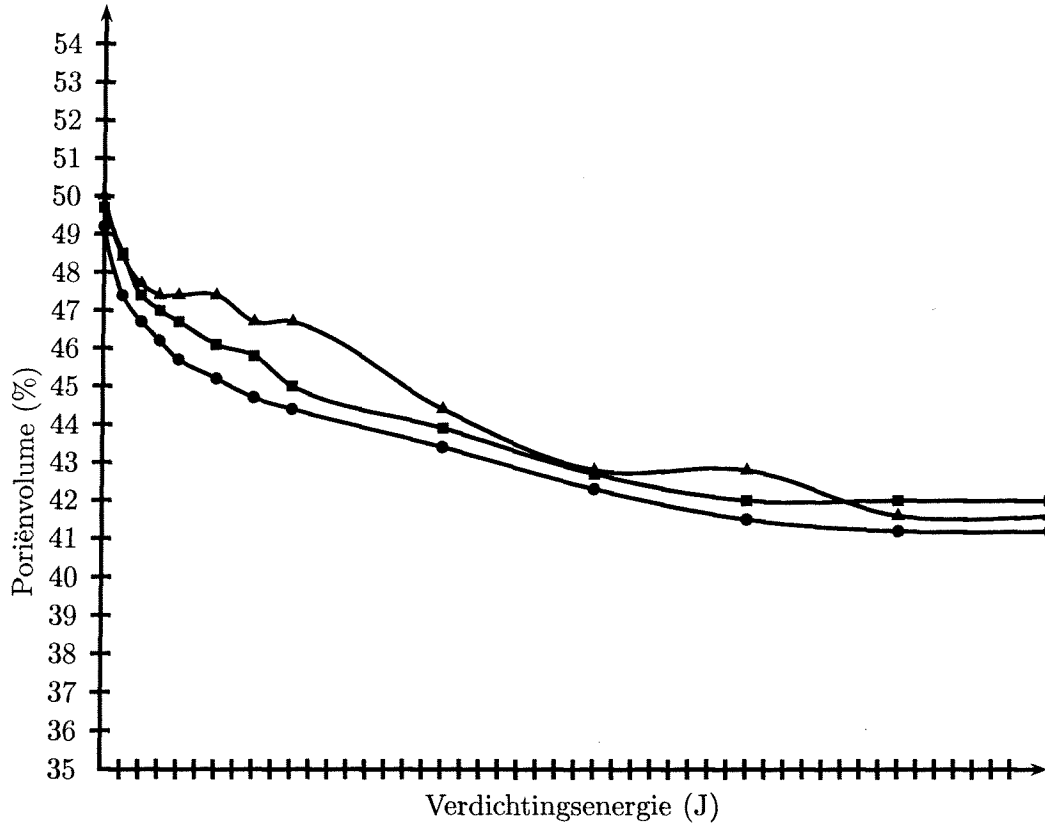
## BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
2	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
3	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
4	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
5	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
6	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
7	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
8	200.0	50.0	-6.2	200.0	50.0	-6.2	397.5	49.7	-3.4	397.5	49.7	-3.4	590.0	49.2	1.4
9	192.5	48.1	11.3	195.0	48.7	5.3	392.5	49.0	2.4	385.0	48.1	11.3	570.0	47.4	17.4
10	192.5	48.1	11.3	195.0	48.7	5.3	392.5	49.0	2.4	385.0	48.1	11.3	570.0	47.4	17.4
11	192.5	48.1	11.3	195.0	48.7	5.3	392.5	49.0	2.4	385.0	48.1	11.3	570.0	47.4	17.4
12	192.5	48.1	11.3	195.0	48.7	5.3	392.5	49.0	2.4	385.0	48.1	11.3	570.0	47.4	17.4
13	190.0	47.4	17.4	192.5	48.1	11.3	380.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	562.5	46.7	23.7
14	190.0	47.4	17.4	192.5	48.1	11.3	380.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	562.5	46.7	23.7
15	190.0	47.4	17.4	192.5	48.1	11.3	380.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	562.5	46.7	23.7
16	190.0	47.4	17.4	192.5	48.1	11.3	380.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	562.5	46.7	23.7
17	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	375.0	46.7	23.7	557.5	46.2	28.0
18	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	375.0	46.7	23.7	557.5	46.2	28.0
19	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	375.0	46.7	23.7	557.5	46.2	28.0
20	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	375.0	46.7	23.7	557.5	46.2	28.0
21	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	370.0	45.9	30.1	552.5	45.7	32.3
22	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	370.0	45.9	30.1	552.5	45.7	32.3
23	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	370.0	45.9	30.1	552.5	45.7	32.3
24	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	380.0	47.4	17.4	370.0	45.9	30.1	552.5	45.7	32.3
25	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	372.5	46.3	26.9	370.0	45.9	30.1	547.5	45.2	36.8
26	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	372.5	46.3	26.9	370.0	45.9	30.1	547.5	45.2	36.8
27	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	372.5	46.3	26.9	370.0	45.9	30.1	547.5	45.2	36.8
28	190.0	47.4	17.4	190.0	47.4	17.4	372.5	46.3	26.9	370.0	45.9	30.1	547.5	45.2	36.8
29	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	370.0	45.9	30.1	367.5	45.6	33.4	542.5	44.7	41.3
30	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	370.0	45.9	30.1	367.5	45.6	33.4	542.5	44.7	41.3
31	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	370.0	45.9	30.1	367.5	45.6	33.4	542.5	44.7	41.3
32	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	370.0	45.9	30.1	367.5	45.6	33.4	542.5	44.7	41.3
33	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	365.0	45.2	36.8	362.5	44.8	40.2	540.0	44.4	43.6
34	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	365.0	45.2	36.8	362.5	44.8	40.2	540.0	44.4	43.6
35	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	365.0	45.2	36.8	362.5	44.8	40.2	540.0	44.4	43.6
36	187.5	46.7	23.7	187.5	46.7	23.7	365.0	45.2	36.8	362.5	44.8	40.2	540.0	44.4	43.6
37	180.0	44.4	43.6	180.0	44.4	43.6	357.5	44.1	47.1	355.0	43.7	50.6	530.0	43.4	53.0
38	180.0	44.4	43.6	180.0	44.4	43.6	357.5	44.1	47.1	355.0	43.7	50.6	530.0	43.4	53.0
39	180.0	44.4	43.6	180.0	44.4	43.6	357.5	44.1	47.1	355.0	43.7	50.6	530.0	43.4	53.0
40	180.0	44.4	43.6	180.0	44.4	43.6	357.5	44.1	47.1	355.0	43.7	50.6	530.0	43.4	53.0
41	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	347.5	42.4	61.5	350.0	42.9	57.8	520.0	42.3	62.7
42	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	347.5	42.4	61.5	350.0	42.9	57.8	520.0	42.3	62.7
43	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	347.5	42.4	61.5	350.0	42.9	57.8	520.0	42.3	62.7
44	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	347.5	42.4	61.5	350.0	42.9	57.8	520.0	42.3	62.7
45	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	512.5	41.5	70.3
46	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	512.5	41.5	70.3
47	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	512.5	41.5	70.3
48	172.5	42.0	65.2	177.5	43.7	50.6	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	512.5	41.5	70.3
49	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
50	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
51	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
52	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
53	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
54	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
55	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
56	172.5	42.0	65.2	170.0	41.2	72.9	342.5	41.6	69.0	347.5	42.4	61.5	510.0	41.2	72.9
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.iii: Meetgegevens WL-C



3: WL-C

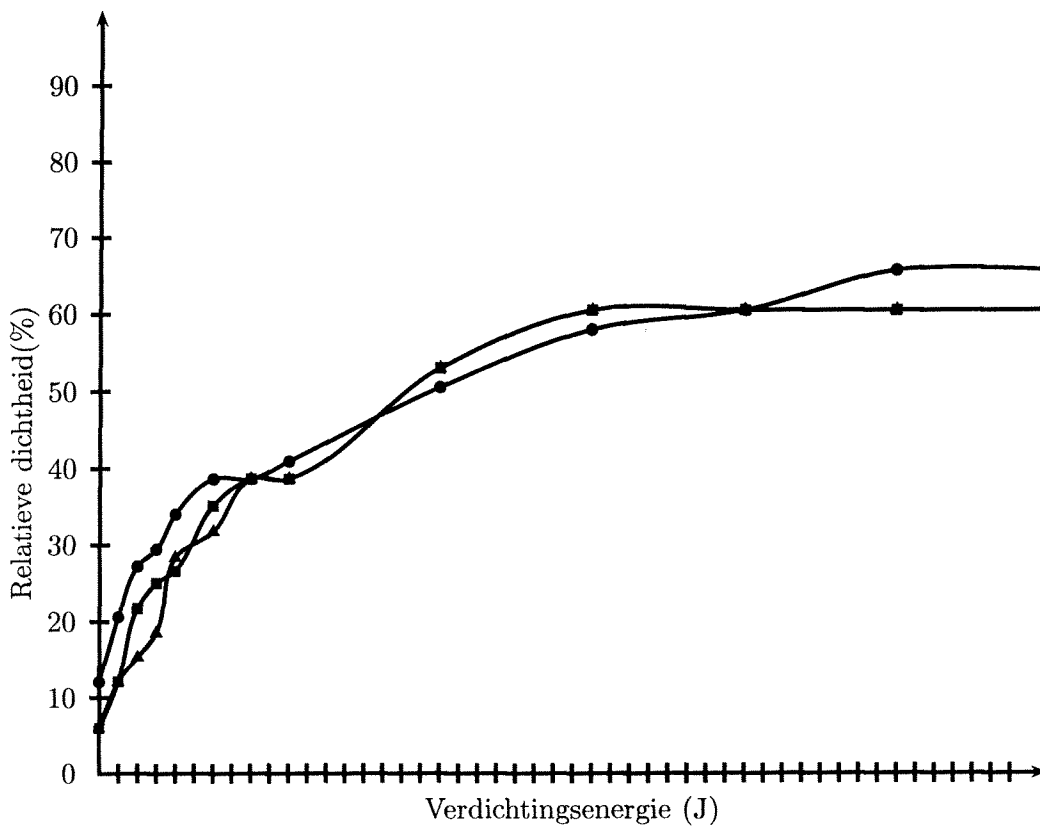
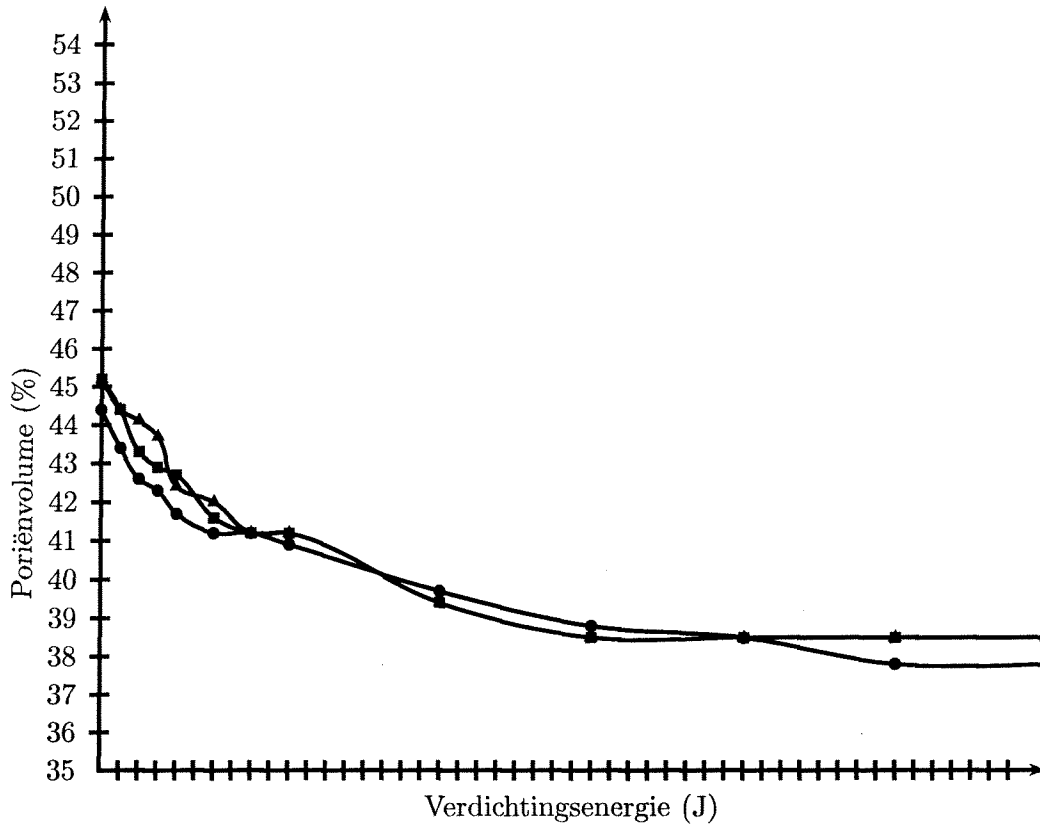


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
2	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
3	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
4	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
5	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
6	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
7	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
8	182.5	45.2	6.0	182.5	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	365.0	45.2	6.0	540.0	44.4	12.1
9	180.0	44.4	12.1	180.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	530.0	43.4	20.6
10	180.0	44.4	12.1	180.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	530.0	43.4	20.6
11	180.0	44.4	12.1	180.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	530.0	43.4	20.6
12	180.0	44.4	12.1	180.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	360.0	44.4	12.1	530.0	43.4	20.6
13	177.5	43.7	18.5	180.0	44.4	12.1	352.5	43.3	21.7	352.5	43.3	21.7	522.5	42.6	27.2
14	177.5	43.7	18.5	180.0	44.4	12.1	352.5	43.3	21.7	352.5	43.3	21.7	522.5	42.6	27.2
15	177.5	43.7	18.5	180.0	44.4	12.1	352.5	43.3	21.7	352.5	43.3	21.7	522.5	42.6	27.2
16	177.5	43.7	18.5	180.0	44.4	12.1	352.5	43.3	21.7	352.5	43.3	21.7	522.5	42.6	27.2
17	177.5	43.7	18.5	177.5	43.7	18.5	350.0	42.9	25.0	350.0	42.9	25.0	520.0	42.3	29.4
18	177.5	43.7	18.5	177.5	43.7	18.5	350.0	42.9	25.0	350.0	42.9	25.0	520.0	42.3	29.4
19	177.5	43.7	18.5	177.5	43.7	18.5	350.0	42.9	25.0	350.0	42.9	25.0	520.0	42.3	29.4
20	177.5	43.7	18.5	177.5	43.7	18.5	350.0	42.9	25.0	350.0	42.9	25.0	520.0	42.3	29.4
21	175.0	42.9	25.0	172.5	42.0	31.7	350.0	42.9	25.0	347.5	42.4	28.3	515.0	41.7	34.0
22	175.0	42.9	25.0	172.5	42.0	31.7	350.0	42.9	25.0	347.5	42.4	28.3	515.0	41.7	34.0
23	175.0	42.9	25.0	172.5	42.0	31.7	350.0	42.9	25.0	347.5	42.4	28.3	515.0	41.7	34.0
24	175.0	42.9	25.0	172.5	42.0	31.7	350.0	42.9	25.0	347.5	42.4	28.3	515.0	41.7	34.0
25	172.5	42.0	31.7	172.5	42.0	31.7				342.5	41.6	35.1	510.0	41.2	38.6
26	172.5	42.0	31.7	172.5	42.0	31.7				342.5	41.6	35.1	510.0	41.2	38.6
27	172.5	42.0	31.7	172.5	42.0	31.7				342.5	41.6	35.1	510.0	41.2	38.6
28	172.5	42.0	31.7	172.5	42.0	31.7				342.5	41.6	35.1	510.0	41.2	38.6
29	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	510.0	41.2	38.6
30	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	510.0	41.2	38.6
31	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	510.0	41.2	38.6
32	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	510.0	41.2	38.6
33	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	507.5	40.9	40.9
34	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	507.5	40.9	40.9
35	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	507.5	40.9	40.9
36	170.0	41.2	38.6	170.0	41.2	38.6				340.0	41.2	38.6	507.5	40.9	40.9
37	165.0	39.4	53.0	165.0	39.4	53.0				330.0	39.4	53.0	497.5	39.7	50.5
38	165.0	39.4	53.0	165.0	39.4	53.0				330.0	39.4	53.0	497.5	39.7	50.5
39	165.0	39.4	53.0	165.0	39.4	53.0				330.0	39.4	53.0	497.5	39.7	50.5
40	165.0	39.4	53.0	165.0	39.4	53.0				330.0	39.4	53.0	497.5	39.7	50.5
41	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	490.0	38.8	58.0
42	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	490.0	38.8	58.0
43	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	490.0	38.8	58.0
44	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	490.0	38.8	58.0
45	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	487.5	38.5	60.5
46	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	487.5	38.5	60.5
47	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	487.5	38.5	60.5
48	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	487.5	38.5	60.5
49	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
50	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
51	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
52	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
53	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
54	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
55	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
56	162.5	38.5	60.5	162.5	38.5	60.5				325.0	38.5	60.5	482.5	37.8	65.7
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.iv: Meetgegevens WL-D

4: WL-D

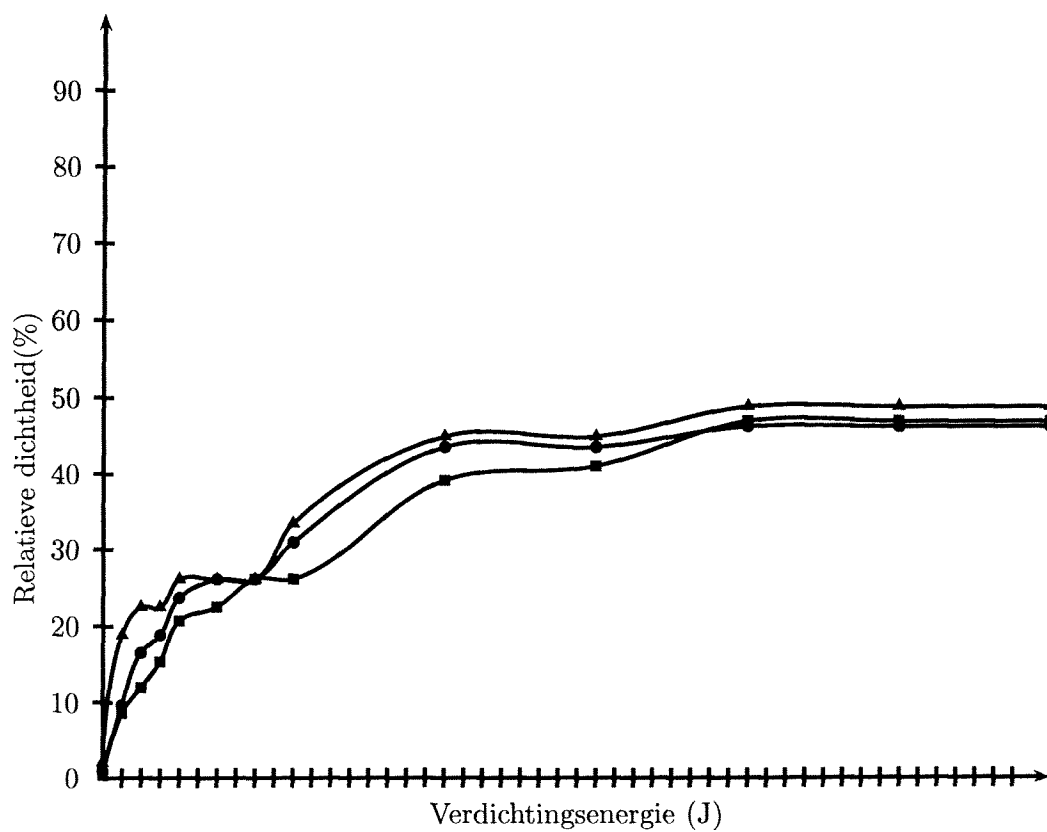
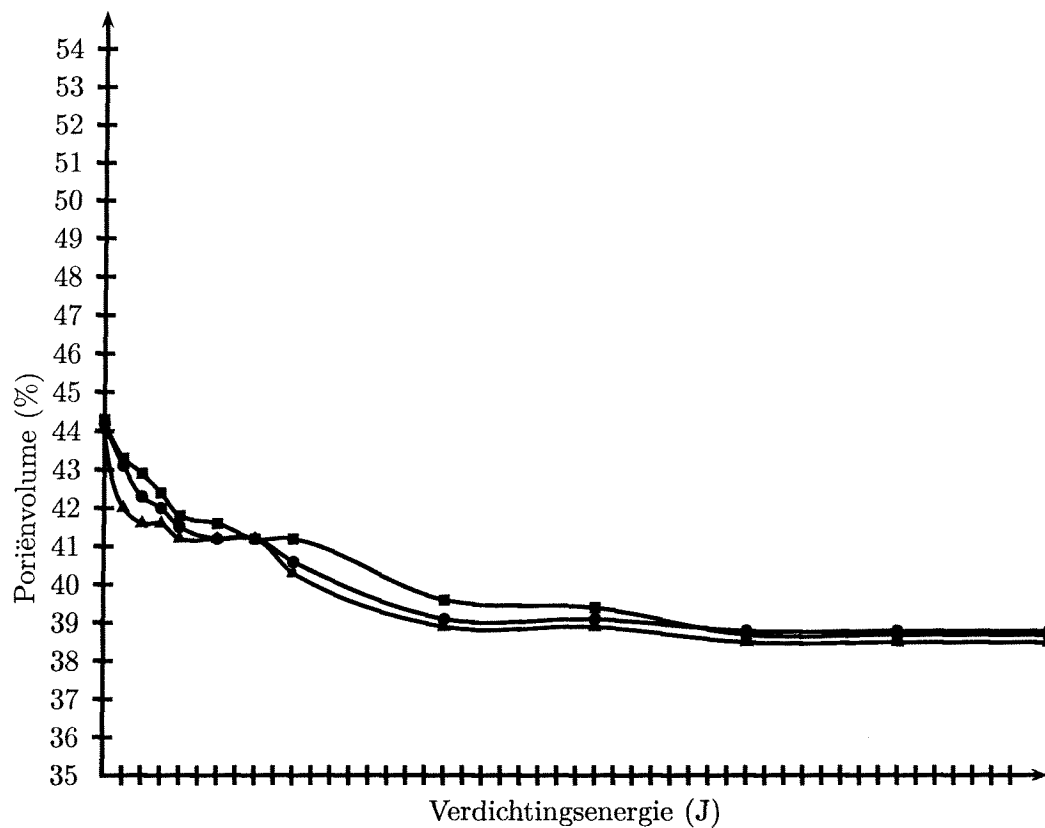


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
2	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
3	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
4	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
5	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
6	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
7	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
8	177.5	43.7	5.3	180.0	44.4	-1.3	360.0	44.4	-1.3	357.5	44.1	2.0	537.5	44.2	0.9
9	172.5	42.0	18.9	172.5	42.0	18.9	352.5	43.3	8.6	352.5	43.3	8.6	527.5	43.1	9.7
10	172.5	42.0	18.9	172.5	42.0	18.9	352.5	43.3	8.6	352.5	43.3	8.6	527.5	43.1	9.7
11	172.5	42.0	18.9	172.5	42.0	18.9	352.5	43.3	8.6	352.5	43.3	8.6	527.5	43.1	9.7
12	172.5	42.0	18.9	172.5	42.0	18.9	352.5	43.3	8.6	352.5	43.3	8.6	527.5	43.1	9.7
13	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	350.0	42.9	12.0	350.0	42.9	12.0	520.0	42.3	16.6
14	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	350.0	42.9	12.0	350.0	42.9	12.0	520.0	42.3	16.6
15	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	350.0	42.9	12.0	350.0	42.9	12.0	520.0	42.3	16.6
16	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	350.0	42.9	12.0	350.0	42.9	12.0	520.0	42.3	16.6
17	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	347.5	42.4	15.4	347.5	42.4	15.4	517.5	42.0	18.9
18	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	347.5	42.4	15.4	347.5	42.4	15.4	517.5	42.0	18.9
19	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	347.5	42.4	15.4	347.5	42.4	15.4	517.5	42.0	18.9
20	172.5	42.0	18.9	170.0	41.2	26.1	347.5	42.4	15.4	347.5	42.4	15.4	517.5	42.0	18.9
21	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	345.0	42.0	18.9	512.5	41.5	23.7
22	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	345.0	42.0	18.9	512.5	41.5	23.7
23	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	345.0	42.0	18.9	512.5	41.5	23.7
24	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	345.0	42.0	18.9	512.5	41.5	23.7
25	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	342.5	41.6	22.5	510.0	41.2	26.1
26	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	342.5	41.6	22.5	510.0	41.2	26.1
27	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	342.5	41.6	22.5	510.0	41.2	26.1
28	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	342.5	41.6	22.5	342.5	41.6	22.5	510.0	41.2	26.1
29	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	510.0	41.2	26.1
30	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	510.0	41.2	26.1
31	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	510.0	41.2	26.1
32	170.0	41.2	26.1	170.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	510.0	41.2	26.1
33	167.5	40.3	33.4	167.5	40.3	33.4	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	505.0	40.6	30.9
34	167.5	40.3	33.4	167.5	40.3	33.4	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	505.0	40.6	30.9
35	167.5	40.3	33.4	167.5	40.3	33.4	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	505.0	40.6	30.9
36	167.5	40.3	33.4	167.5	40.3	33.4	340.0	41.2	26.1	340.0	41.2	26.1	505.0	40.6	30.9
37	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	332.5	39.8	37.2	492.5	39.1	43.5
38	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	332.5	39.8	37.2	492.5	39.1	43.5
39	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	332.5	39.8	37.2	492.5	39.1	43.5
40	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	332.5	39.8	37.2	492.5	39.1	43.5
41	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	330.0	39.4	41.0	492.5	39.1	43.5
42	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	330.0	39.4	41.0	492.5	39.1	43.5
43	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	330.0	39.4	41.0	492.5	39.1	43.5
44	165.0	39.4	41.0	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	330.0	39.4	41.0	492.5	39.1	43.5
45	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
46	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
47	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
48	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
49	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
50	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
51	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
52	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
53	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
54	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
55	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
56	162.5	38.5	48.8	162.5	38.5	48.8	330.0	39.4	41.0	322.5	38.0	52.8	490.0	38.8	46.2
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.v: Meetgegevens WL-E

5: WL-E

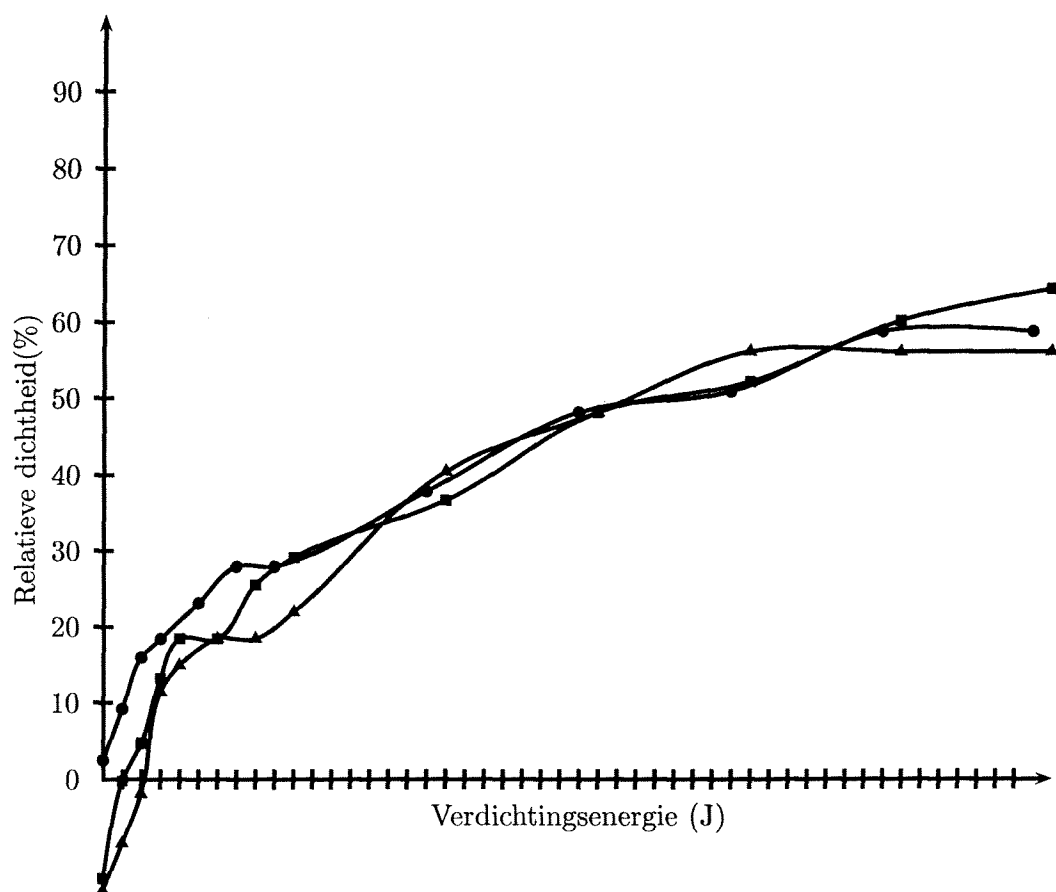
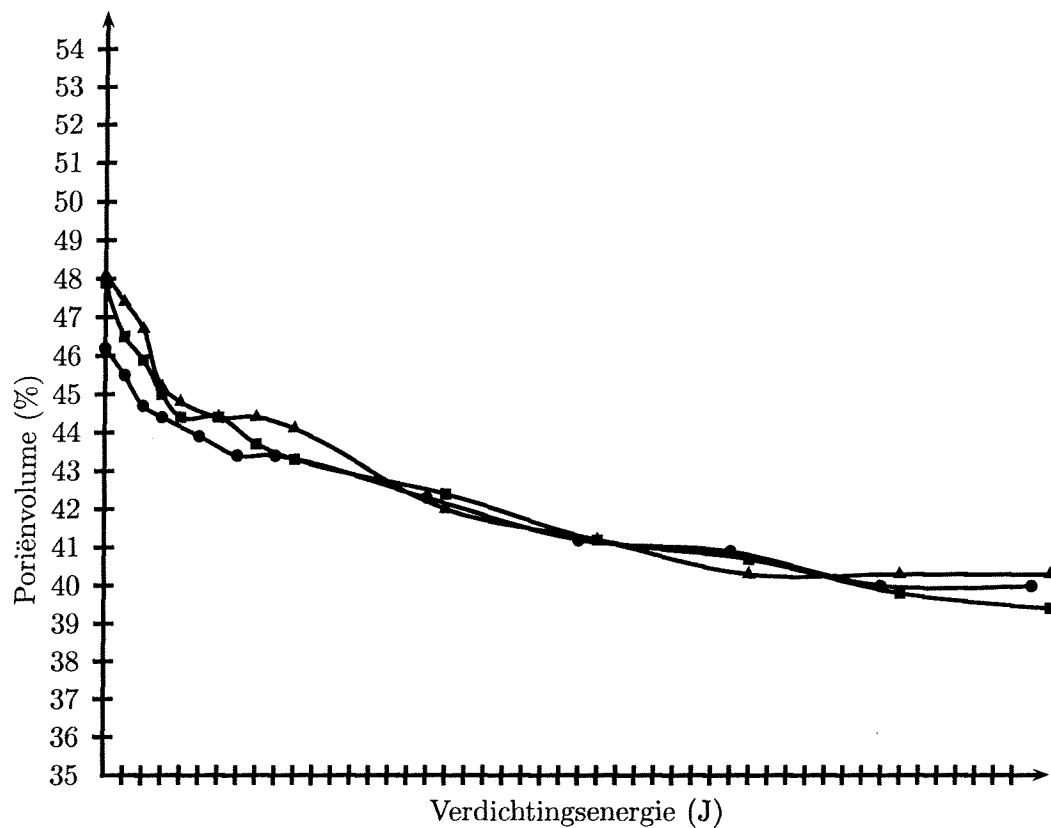


# BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30	
	$V_t$ (ml)	$n_{situ}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{situ}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{situ}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{situ}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{situ}$ (%)
0														
1	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	nog steeds in suspensie	
2	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
3	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
4	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
5	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
6	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
7	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
8	192.5	48.1	-14.5	192.5	48.1	-14.5	385.0	48.1	-14.5	382.5	47.7	-11.4	572.5	47.6
9	190.0	47.4	-8.3	190.0	47.4	-8.3	375.0	46.7	-1.9	372.5	46.3	1.4	557.5	46.2
10	190.0	47.4	-8.3	190.0	47.4	-8.3	375.0	46.7	-1.9	372.5	46.3	1.4	557.5	46.2
11	190.0	47.4	-8.3	190.0	47.4	-8.3	375.0	46.7	-1.9	372.5	46.3	1.4	557.5	46.2
12	190.0	47.4	-8.3	190.0	47.4	-8.3	375.0	46.7	-1.9	372.5	46.3	1.4	557.5	46.2
13	187.5	46.7	-1.9	187.5	46.7	-1.9	370.0	45.9	4.7	370.0	45.9	4.7	550.0	45.5
14	187.5	46.7	-1.9	187.5	46.7	-1.9	370.0	45.9	4.7	370.0	45.9	4.7	550.0	45.5
15	187.5	46.7	-1.9	187.5	46.7	-1.9	370.0	45.9	4.7	370.0	45.9	4.7	550.0	45.5
16	187.5	46.7	-1.9	187.5	46.7	-1.9	370.0	45.9	4.7	370.0	45.9	4.7	550.0	45.5
17	182.5	45.2	11.4	182.5	45.2	11.4	365.0	45.2	11.4	362.5	44.8	14.9	542.5	44.7
18	182.5	45.2	11.4	182.5	45.2	11.4	365.0	45.2	11.4	362.5	44.8	14.9	542.5	44.7
19	182.5	45.2	11.4	182.5	45.2	11.4	365.0	45.2	11.4	362.5	44.8	14.9	542.5	44.7
20	182.5	45.2	11.4	182.5	45.2	11.4	365.0	45.2	11.4	362.5	44.8	14.9	542.5	44.7
21	180.0	44.4	18.4	182.5	45.2	11.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	540.0	44.4
22	180.0	44.4	18.4	182.5	45.2	11.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	540.0	44.4
23	180.0	44.4	18.4	182.5	45.2	11.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	540.0	44.4
24	180.0	44.4	18.4	182.5	45.2	11.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	540.0	44.4
25	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	535.0	43.9
26	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	535.0	43.9
27	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	535.0	43.9
28	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	360.0	44.4	18.4	535.0	43.9
29	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	355.0	43.7	25.5	530.0	43.4
30	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	355.0	43.7	25.5	530.0	43.4
31	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	355.0	43.7	25.5	530.0	43.4
32	180.0	44.4	18.4	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	355.0	43.7	25.5	530.0	43.4
33	177.5	43.7	25.5	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	350.0	42.9	32.8	530.0	43.4
34	177.5	43.7	25.5	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	350.0	42.9	32.8	530.0	43.4
35	177.5	43.7	25.5	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	350.0	42.9	32.8	530.0	43.4
36	177.5	43.7	25.5	180.0	44.4	18.4	355.0	43.7	25.5	350.0	42.9	32.8	530.0	43.4
37	172.5	42.0	40.4	172.5	42.0	40.4	347.5	42.4	36.6	347.5	42.4	36.6	520.0	42.3
38	172.5	42.0	40.4	172.5	42.0	40.4	347.5	42.4	36.6	347.5	42.4	36.6	520.0	42.3
39	172.5	42.0	40.4	172.5	42.0	40.4	347.5	42.4	36.6	347.5	42.4	36.6	520.0	42.3
40	172.5	42.0	40.4	172.5	42.0	40.4	347.5	42.4	36.6	347.5	42.4	36.6	520.0	42.3
41	170.0	41.2	48.1	170.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	510.0	41.2
42	170.0	41.2	48.1	170.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	510.0	41.2
43	170.0	41.2	48.1	170.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	510.0	41.2
44	170.0	41.2	48.1	170.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	340.0	41.2	48.1	510.0	41.2
45	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	337.5	40.7	52.1	337.5	40.7	52.1	507.5	40.9
46	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	337.5	40.7	52.1	337.5	40.7	52.1	507.5	40.9
47	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	337.5	40.7	52.1	337.5	40.7	52.1	507.5	40.9
48	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	337.5	40.7	52.1	337.5	40.7	52.1	507.5	40.9
49	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	332.5	39.8	60.2	332.5	39.8	60.2	500.0	40.0
50	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	332.5	39.8	60.2	332.5	39.8	60.2	500.0	40.0
51	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	332.5	39.8	60.2	332.5	39.8	60.2	500.0	40.0
52	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	332.5	39.8	60.2	332.5	39.8	60.2	500.0	40.0
53	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	330.0	39.4	64.3	330.0	39.4	64.3	500.0	40.0
54	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	330.0	39.4	64.3	330.0	39.4	64.3	500.0	40.0
55	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	330.0	39.4	64.3	330.0	39.4	64.3	500.0	40.0
56	167.5	40.3	56.1	167.5	40.3	56.1	330.0	39.4	64.3	330.0	39.4	64.3	500.0	40.0
57														
58														
59														
60														

Tabel IV.vi: Meetgegevens Baskarp

6: Baskarp



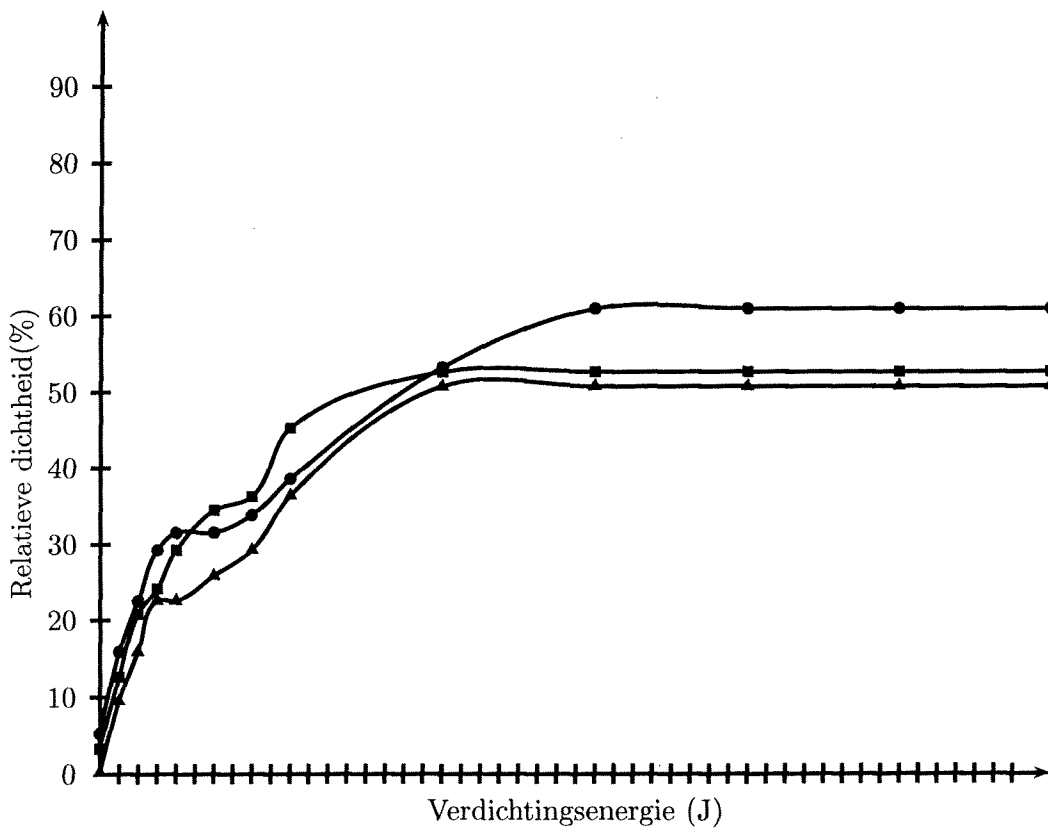
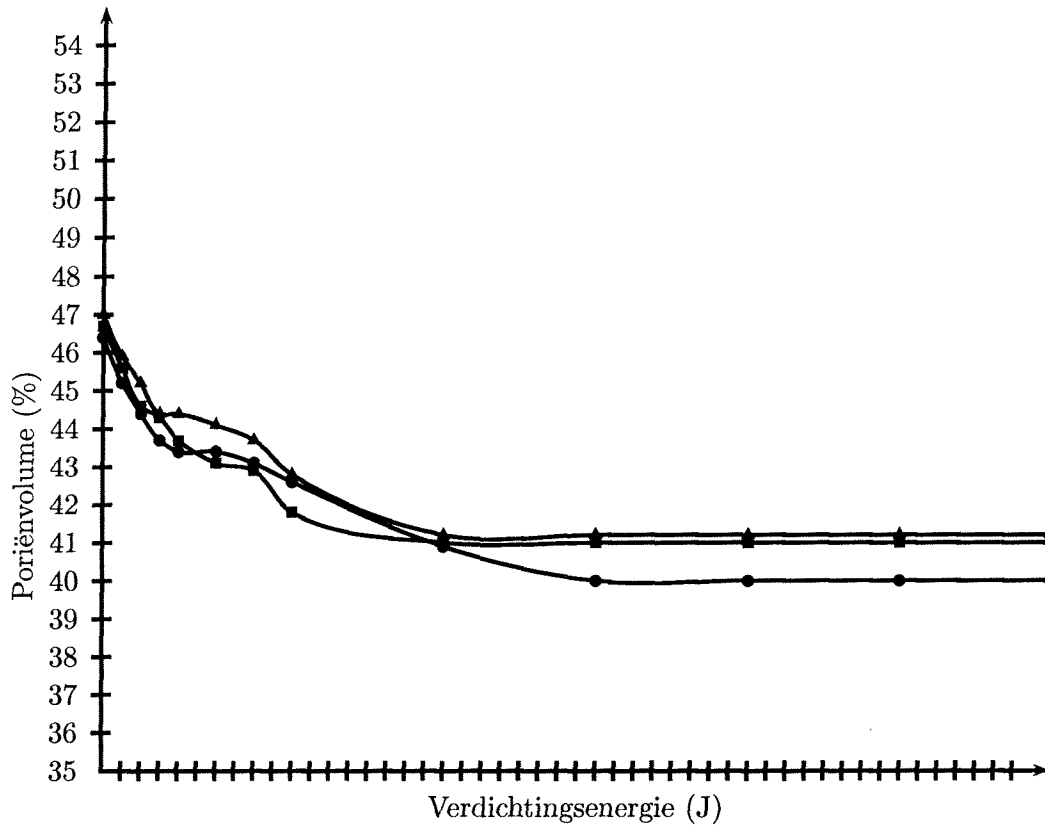
BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
2	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
3	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
4	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
5	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
6	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
7	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
8	187.5	46.7	3.2	190.0	47.4	-2.8	372.5	46.3	6.3	377.5	47.0	0.2	560.0	46.4	5.3
9	185.0	45.9	9.5	185.0	45.9	9.5	367.5	45.6	12.6	367.5	45.6	12.6	547.5	45.2	15.9
10	185.0	45.9	9.5	185.0	45.9	9.5	367.5	45.6	12.6	367.5	45.6	12.6	547.5	45.2	15.9
11	185.0	45.9	9.5	185.0	45.9	9.5	367.5	45.6	12.6	367.5	45.6	12.6	547.5	45.2	15.9
12	185.0	45.9	9.5	185.0	45.9	9.5	367.5	45.6	12.6	367.5	45.6	12.6	547.5	45.2	15.9
13	182.5	45.2	15.9	182.5	45.2	15.9	360.0	44.4	22.5	362.5	44.8	19.1	540.0	44.4	22.5
14	182.5	45.2	15.9	182.5	45.2	15.9	360.0	44.4	22.5	362.5	44.8	19.1	540.0	44.4	22.5
15	182.5	45.2	15.9	182.5	45.2	15.9	360.0	44.4	22.5	362.5	44.8	19.1	540.0	44.4	22.5
16	182.5	45.2	15.9	182.5	45.2	15.9	360.0	44.4	22.5	362.5	44.8	19.1	540.0	44.4	22.5
17	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	357.5	44.1	25.8	360.0	44.4	22.5	532.5	43.7	29.2
18	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	357.5	44.1	25.8	360.0	44.4	22.5	532.5	43.7	29.2
19	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	357.5	44.1	25.8	360.0	44.4	22.5	532.5	43.7	29.2
20	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	357.5	44.1	25.8	360.0	44.4	22.5	532.5	43.7	29.2
21	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	352.5	43.3	32.7	357.5	44.1	25.8	530.0	43.4	31.5
22	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	352.5	43.3	32.7	357.5	44.1	25.8	530.0	43.4	31.5
23	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	352.5	43.3	32.7	357.5	44.1	25.8	530.0	43.4	31.5
24	180.0	44.4	22.5	180.0	44.4	22.5	352.5	43.3	32.7	357.5	44.1	25.8	530.0	43.4	31.5
25	180.0	44.4	22.5	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	352.5	43.3	32.7	530.0	43.4	31.5
26	180.0	44.4	22.5	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	352.5	43.3	32.7	530.0	43.4	31.5
27	180.0	44.4	22.5	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	352.5	43.3	32.7	530.0	43.4	31.5
28	180.0	44.4	22.5	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	352.5	43.3	32.7	530.0	43.4	31.5
29	177.5	43.7	29.2	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	350.0	42.9	36.2	527.5	43.1	33.8
30	177.5	43.7	29.2	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	350.0	42.9	36.2	527.5	43.1	33.8
31	177.5	43.7	29.2	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	350.0	42.9	36.2	527.5	43.1	33.8
32	177.5	43.7	29.2	177.5	43.7	29.2	350.0	42.9	36.2	350.0	42.9	36.2	527.5	43.1	33.8
33	177.5	43.7	29.2	172.5	42.0	43.3	347.5	42.4	39.7	340.0	41.2	50.7	522.5	42.6	38.5
34	177.5	43.7	29.2	172.5	42.0	43.3	347.5	42.4	39.7	340.0	41.2	50.7	522.5	42.6	38.5
35	177.5	43.7	29.2	172.5	42.0	43.3	347.5	42.4	39.7	340.0	41.2	50.7	522.5	42.6	38.5
36	177.5	43.7	29.2	172.5	42.0	43.3	347.5	42.4	39.7	340.0	41.2	50.7	522.5	42.6	38.5
37	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	507.5	40.9	53.2
38	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	507.5	40.9	53.2
39	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	507.5	40.9	53.2
40	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	507.5	40.9	53.2
41	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
42	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
43	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
44	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
45	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
46	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
47	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
48	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
49	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
50	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
51	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
52	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
53	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
54	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
55	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
56	170.0	41.2	50.7	170.0	41.2	50.7	337.5	40.7	54.5	340.0	41.2	50.7	500.0	40.0	60.9
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.vii: Meetgegevens Sylt

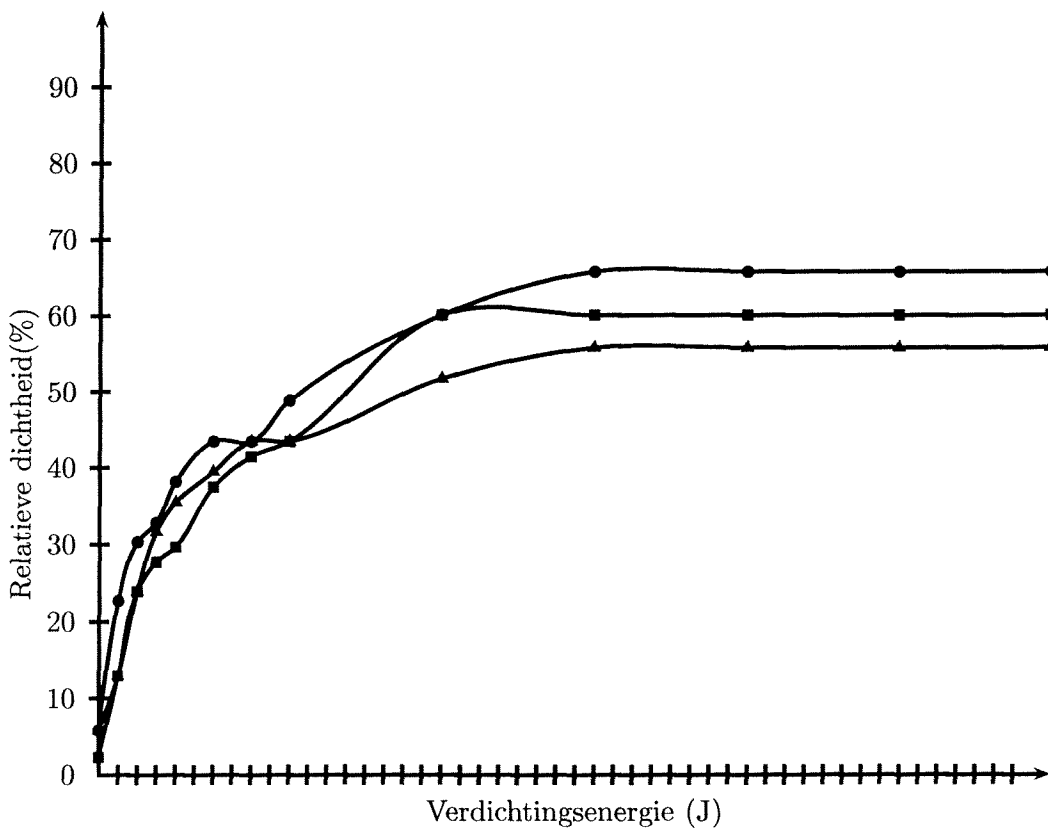
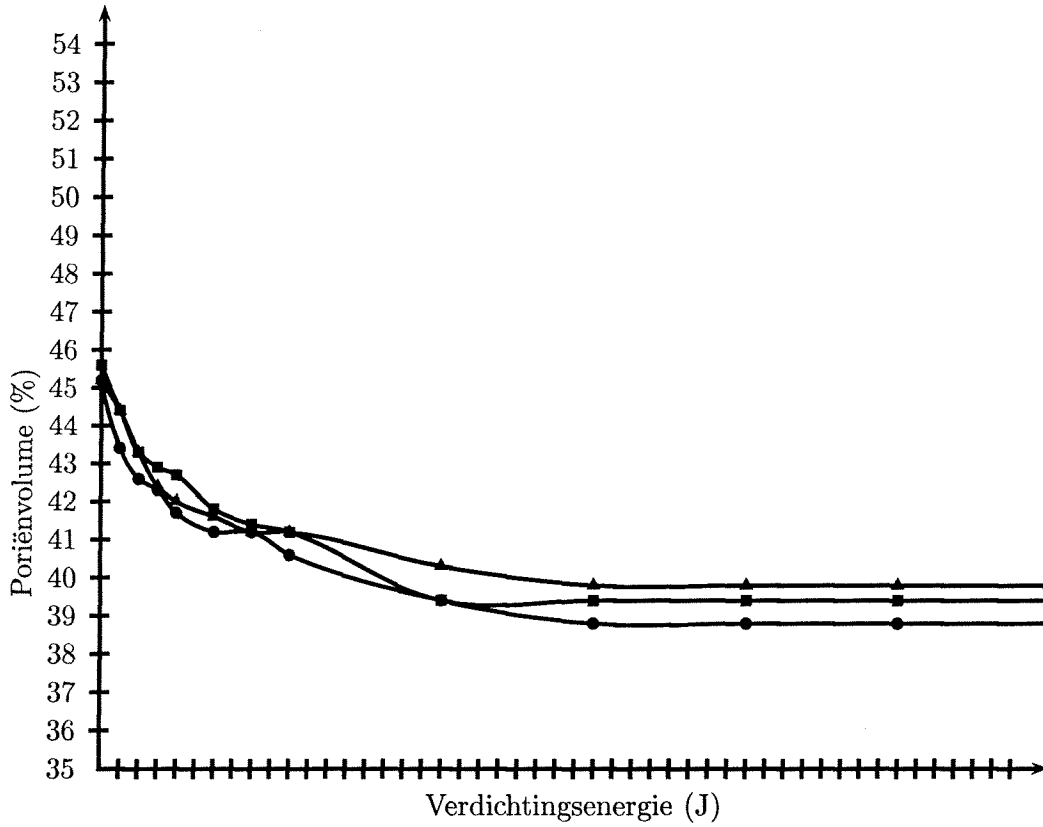


7: Sylt





8: Metselzand

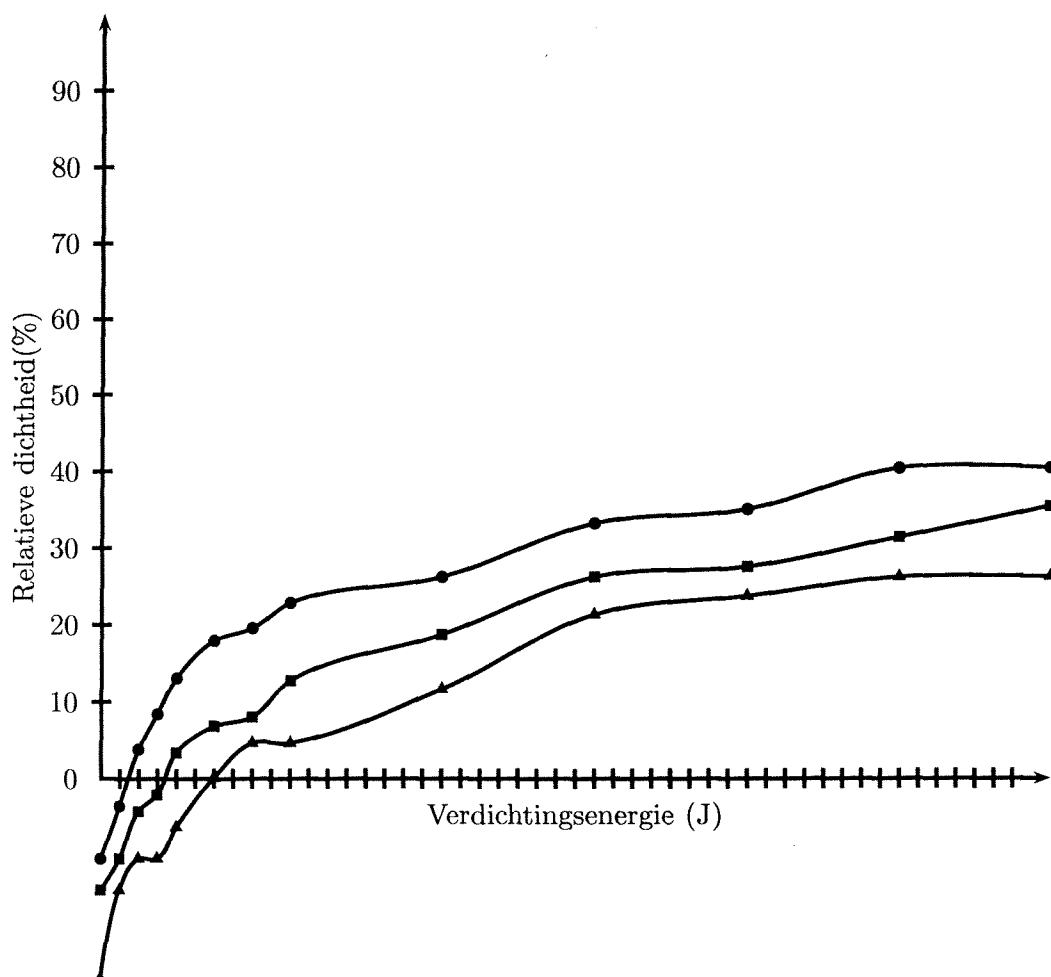
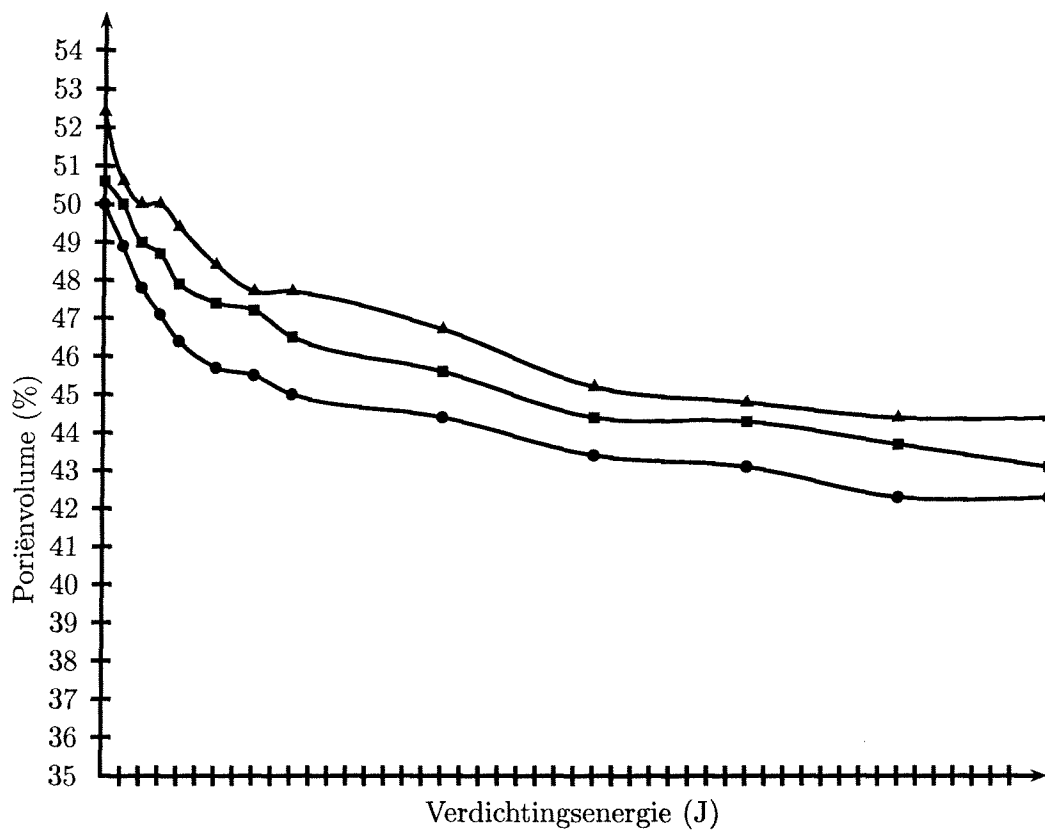


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10			C20			C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0									
1									
2	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4			
3	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
4	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
5	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
6	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
7	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
8	210.0	52.4	-26.4	210.0	52.4	-26.4	410.0	51.2	-18.7
9	202.5	50.6	-14.7	202.5	50.6	-14.7	400.0	50.0	-10.6
10	202.5	50.6	-14.7	202.5	50.6	-14.7	400.0	50.0	-10.6
11	202.5	50.6	-14.7	202.5	50.6	-14.7	400.0	50.0	-10.6
12	202.5	50.6	-14.7	202.5	50.6	-14.7	400.0	50.0	-10.6
13	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	392.5	49.0	-4.3
14	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	392.5	49.0	-4.3
15	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	392.5	49.0	-4.3
16	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	392.5	49.0	-4.3
17	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	390.0	48.7	-2.1
18	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	390.0	48.7	-2.1
19	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	390.0	48.7	-2.1
20	200.0	50.0	-10.6	200.0	50.0	-10.6	390.0	48.7	-2.1
21	197.5	49.4	-6.4	197.5	49.4	-6.4	385.0	48.1	2.3
22	197.5	49.4	-6.4	197.5	49.4	-6.4	385.0	48.1	2.3
23	197.5	49.4	-6.4	197.5	49.4	-6.4	385.0	48.1	2.3
24	197.5	49.4	-6.4	197.5	49.4	-6.4	385.0	48.1	2.3
25	192.5	48.1	2.3	195.0	48.7	-2.1	380.0	47.4	6.8
26	192.5	48.1	2.3	195.0	48.7	-2.1	380.0	47.4	6.8
27	192.5	48.1	2.3	195.0	48.7	-2.1	380.0	47.4	6.8
28	192.5	48.1	2.3	195.0	48.7	-2.1	380.0	47.4	6.8
29	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	380.0	47.4	6.8
30	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	380.0	47.4	6.8
31	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	380.0	47.4	6.8
32	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	380.0	47.4	6.8
33	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	375.0	46.7	11.5
34	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	375.0	46.7	11.5
35	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	375.0	46.7	11.5
36	190.0	47.4	6.8	192.5	48.1	2.3	375.0	46.7	11.5
37	185.0	45.9	16.3	190.0	47.4	6.8	367.5	45.6	18.7
38	185.0	45.9	16.3	190.0	47.4	6.8	367.5	45.6	18.7
39	185.0	45.9	16.3	190.0	47.4	6.8	367.5	45.6	18.7
40	185.0	45.9	16.3	190.0	47.4	6.8	367.5	45.6	18.7
41	180.0	44.4	26.2	185.0	45.9	16.3	360.0	44.4	26.2
42	180.0	44.4	26.2	185.0	45.9	16.3	360.0	44.4	26.2
43	180.0	44.4	26.2	185.0	45.9	16.3	360.0	44.4	26.2
44	180.0	44.4	26.2	185.0	45.9	16.3	360.0	44.4	26.2
45	180.0	44.4	26.2	182.5	45.2	21.2	357.5	44.1	28.8
46	180.0	44.4	26.2	182.5	45.2	21.2	357.5	44.1	28.8
47	180.0	44.4	26.2	182.5	45.2	21.2	357.5	44.1	28.8
48	180.0	44.4	26.2	182.5	45.2	21.2	357.5	44.1	28.8
49	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	352.5	43.3	34.1
50	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	352.5	43.3	34.1
51	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	352.5	43.3	34.1
52	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	352.5	43.3	34.1
53	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	350.0	42.9	36.8
54	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	350.0	42.9	36.8
55	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	350.0	42.9	36.8
56	180.0	44.4	26.2	180.0	44.4	26.2	350.0	42.9	36.8
57									
58									
59									
60									

Tabel IV.ix: Meetgegevens Zeefzand

9: Zeefzand

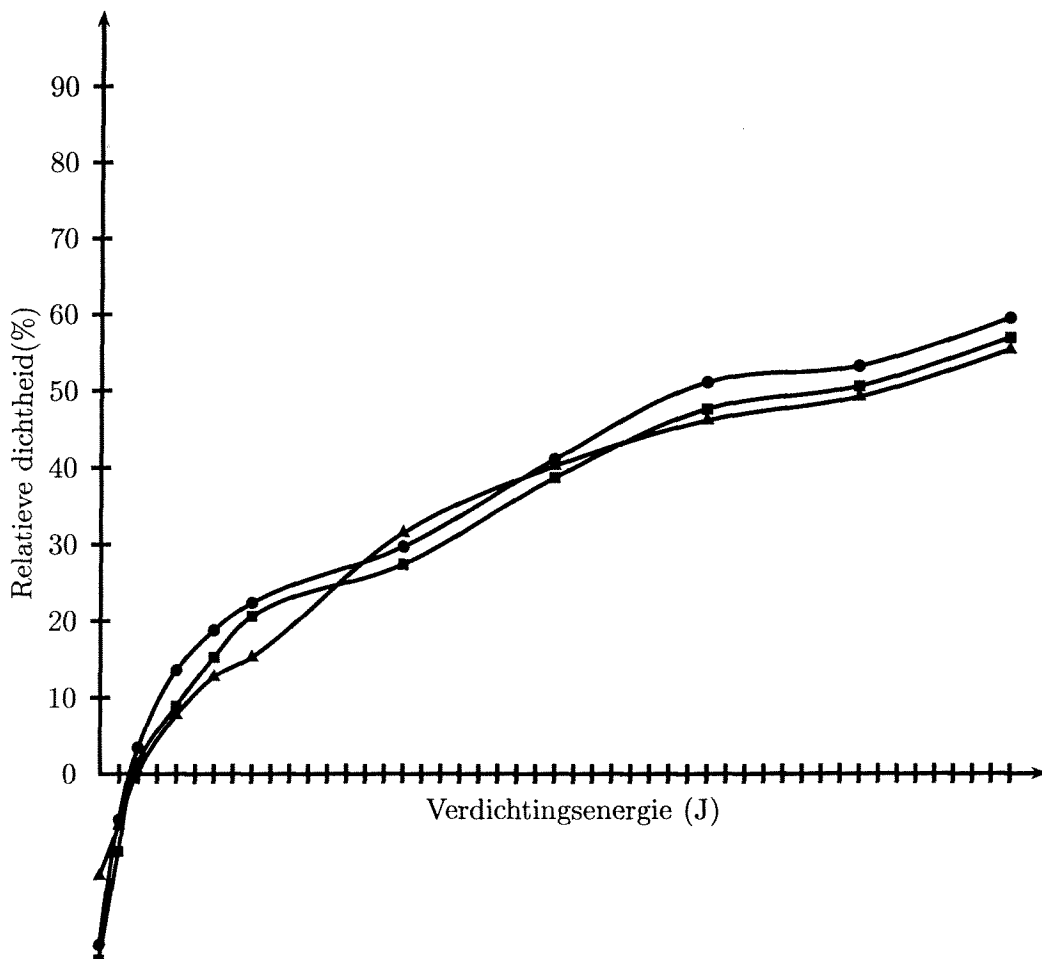
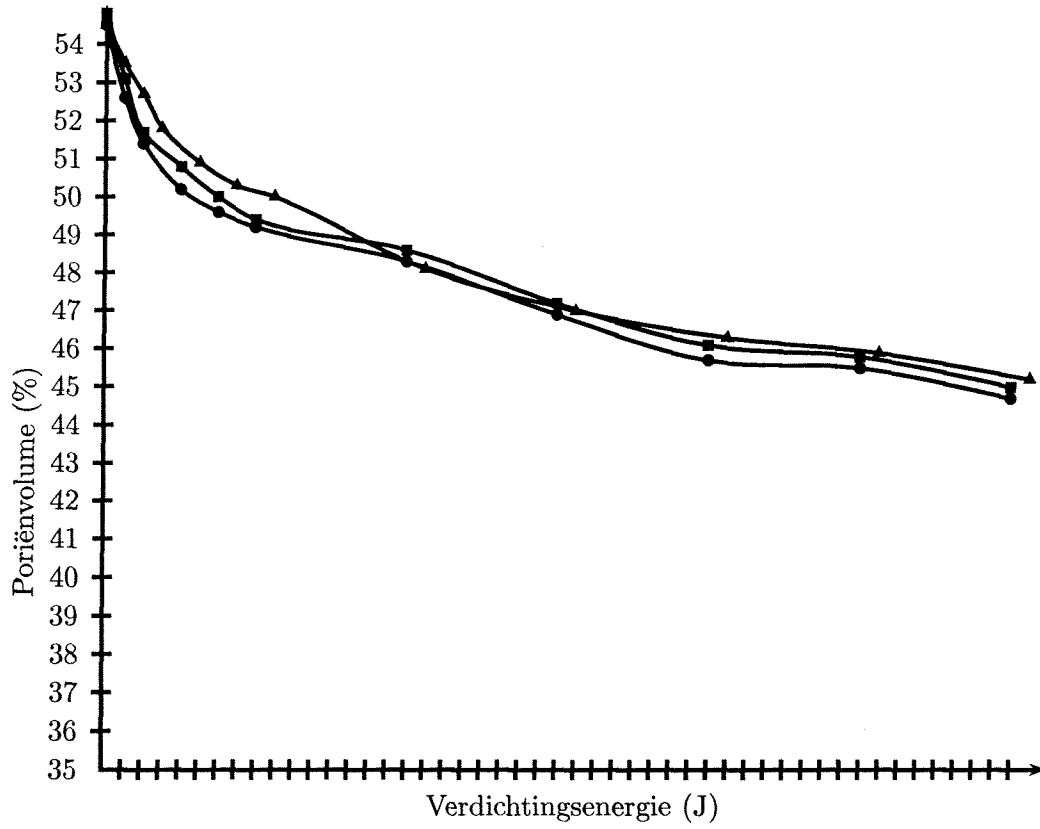


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10			C20			C30			C40		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8	227.5	56.0	-35.0									
9	220.0	54.5	-22.6									
10	217.5	54.0	-18.2	227.5	56.0	-35.0						
11	217.5	54.0	-18.2	225.0	55.6	-31.0	452.5	55.8	-33.0			
12	215.0	53.5	-13.8	225.0	55.6	-31.0	442.5	54.8	-24.7	460.0	56.5	-39.0
13	210.0	52.4	-4.5	220.0	54.5	-22.6	435.0	54.0	-18.2	450.0	55.6	-31.0
14	210.0	52.4	-4.5	220.0	54.5	-22.6	430.0	53.5	-13.8	442.5	54.8	-24.7
15	210.0	52.4	-4.5	217.5	54.0	-18.2	430.0	53.5	-13.8	440.0	54.5	-22.6
16	210.0	52.4	-4.5	217.5	54.0	-18.2	427.5	53.2	-11.5	437.5	54.3	-20.4
17	210.0	52.4	-4.5	212.5	52.9	-9.2	420.0	52.4	-4.5	432.5	53.8	-16.0
18	207.5	51.8	0.3	210.0	52.4	-4.5	417.5	52.1	-2.1	427.5	53.2	-11.5
19	207.5	51.8	0.3	210.0	52.4	-4.5	417.5	52.1	-2.1	442.5	54.8	-24.7
20	207.5	51.8	0.3	210.0	52.4	-4.5	415.0	51.8	0.3	420.0	52.4	-4.5
21	205.0	51.2	5.2	210.0	52.4	-4.5	410.0	51.2	5.2	417.5	52.1	-2.1
22	205.0	51.2	5.2	210.0	52.4	-4.5	410.0	51.2	5.2	415.0	51.8	0.3
23	205.0	51.2	5.2	207.5	51.8	0.3	410.0	51.2	5.2	412.5	51.5	2.7
24	202.5	50.6	10.2	207.5	51.8	0.3	410.0	51.2	5.2	412.5	51.5	2.7
25	202.5	50.6	10.2	205.0	51.2	5.2	402.5	50.3	12.7	410.0	51.2	5.2
26	202.5	50.6	10.2	205.0	51.2	5.2	400.0	50.0	15.3	407.5	50.9	7.6
27	202.5	50.6	10.2	205.0	51.2	5.2	400.0	50.0	15.3	405.0	50.6	10.2
28	202.5	50.6	10.2	205.0	51.2	5.2	400.0	50.0	15.3	405.0	50.6	10.2
29	200.0	50.0	15.3	202.5	50.6	10.2	400.0	50.0	15.3	400.0	50.0	15.3
30	200.0	50.0	15.3	202.5	50.6	10.2	397.5	49.7	17.9	400.0	50.0	15.3
31	200.0	50.0	15.3	202.5	50.6	10.2	397.5	49.7	17.9	400.0	50.0	15.3
32	200.0	50.0	15.3	202.5	50.6	10.2	397.5	49.7	17.9	400.0	50.0	15.3
33	200.0	50.0	15.3	200.0	50.0	15.3	392.5	49.0	23.3	397.5	49.7	17.9
34	200.0	50.0	15.3	200.0	50.0	15.3	390.0	48.7	26.0	395.0	49.4	20.6
35	200.0	50.0	15.3	200.0	50.0	15.3	390.0	48.7	26.0	395.0	49.4	20.6
36	200.0	50.0	15.3	200.0	50.0	15.3	390.0	48.7	26.0	392.5	49.0	23.3
37	192.5	48.1	31.5	192.5	48.1	31.5	387.5	48.4	28.8	390.0	48.7	26.0
38	190.0	47.4	37.2	190.0	47.4	37.2	382.5	47.7	34.4	387.5	48.4	28.8
39	190.0	47.4	37.2	190.0	47.4	37.2	380.0	47.4	37.2	385.0	48.1	31.5
40	190.0	47.4	37.2	190.0	47.4	37.2	380.0	47.4	37.2	382.5	47.7	34.4
41	190.0	47.4	37.2	187.5	46.7	43.1	377.5	47.0	40.1	380.0	47.4	37.2
42	190.0	47.4	37.2	187.5	46.7	43.1	372.5	46.3	46.1	377.5	47.0	40.1
43	190.0	47.4	37.2	185.0	45.9	49.1	372.5	46.3	46.1	375.0	46.7	43.1
44	190.0	47.4	37.2	185.0	45.9	49.1	372.5	46.3	46.1	375.0	46.7	43.1
45	187.5	46.7	43.1	185.0	45.9	49.1	370.0	45.9	49.1	372.5	46.3	46.1
46	187.5	46.7	43.1	182.5	45.2	55.3	367.5	45.6	52.2	370.0	45.9	49.1
47	187.5	46.7	43.1	182.5	45.2	55.3	367.5	45.6	52.2	370.0	45.9	49.1
48	187.5	46.7	43.1	182.5	45.2	55.3	367.5	45.6	52.2	370.0	45.9	49.1
49	187.5	46.7	43.1	182.5	45.2	55.3	367.5	45.6	52.2	370.0	45.9	49.1
50	187.5	46.7	43.1	182.5	45.2	55.3	362.5	44.8	58.4	370.0	45.9	49.1
51	185.0	45.9	49.1	182.5	45.2	55.3	362.5	44.8	58.4	370.0	45.9	49.1
52	185.0	45.9	49.1	182.5	45.2	55.3	362.5	44.8	58.4	370.0	45.9	49.1
53	182.5	45.2	55.3	182.5	45.2	55.3	360.0	44.4	61.6	367.5	45.6	52.2
54	182.5	45.2	55.3	182.5	45.2	55.3	360.0	44.4	61.6	367.5	45.6	52.2
55	182.5	45.2	55.3	182.5	45.2	55.3	360.0	44.4	61.6	367.5	45.6	52.2
56	182.5	45.2	55.3	182.5	45.2	55.3	360.0	44.4	61.6	365.0	45.2	55.3
57												
58												
59												
60												

Tabel IV.x: Meetgegevens Amerongen

10: Amerongen



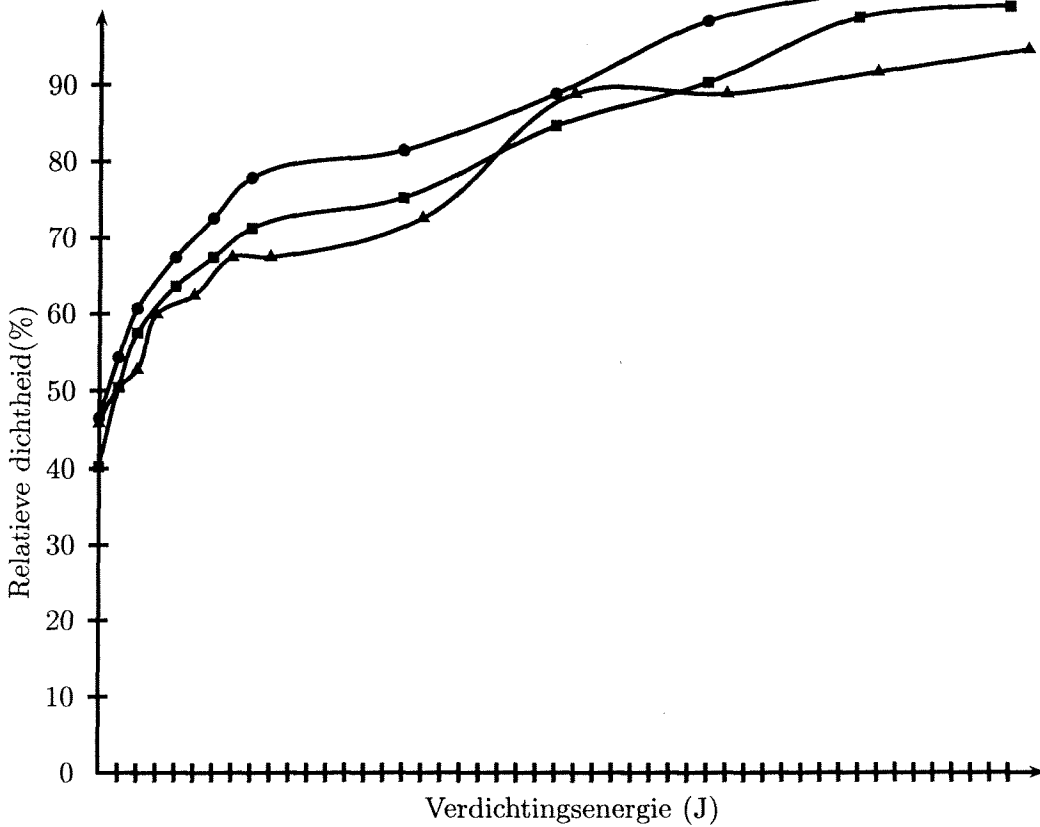
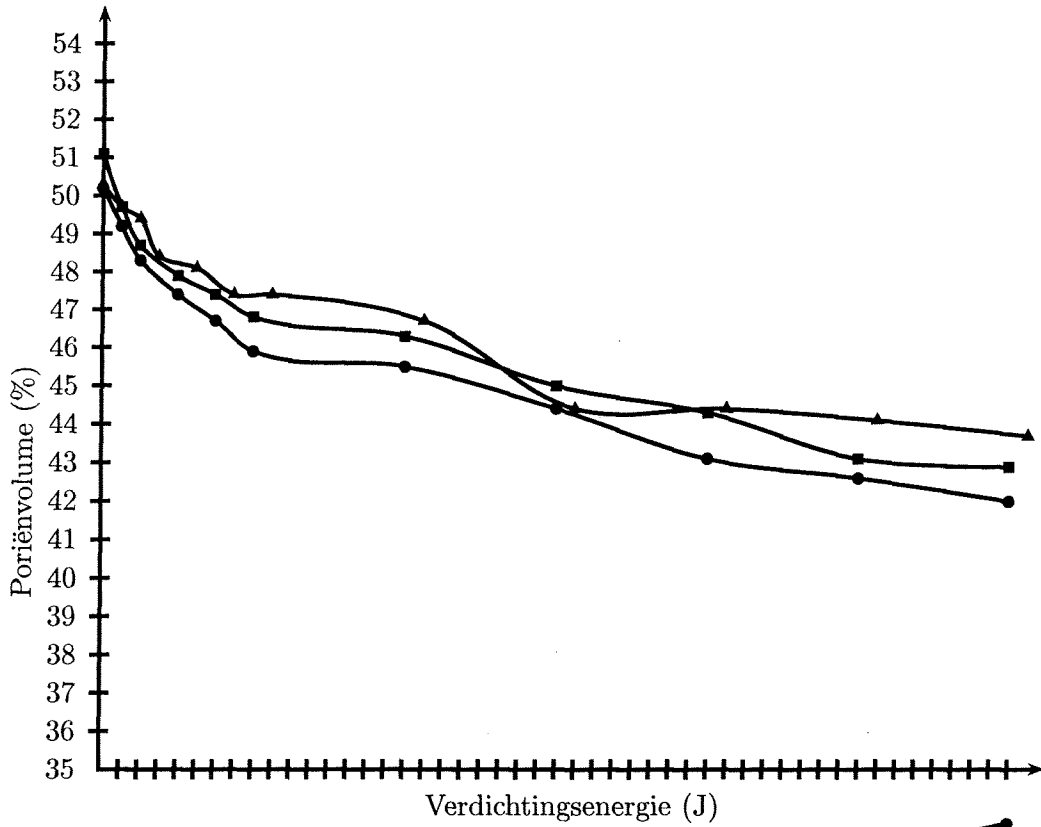
BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	$V_t$ (ml)	$n_{sitsu}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{sitsu}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{sitsu}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{sitsu}$ (%)	$D_r$ (%)	$V_t$ (ml)	$n_{sitsu}$ (%)	$D_r$ (%)
0															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7	207.5	51.8	34.8												
8	207.5	51.8	34.8	205.0	51.2	39.1									
9	202.5	50.6	43.5	200.0	50.0	48.1									
10	200.0	50.0	48.1	200.0	50.0	48.1	410.0	51.2	39.1	410.0	51.2	39.1	607.5	50.6	43.5
11	200.0	50.0	48.1	200.0	50.0	48.1	410.0	51.2	39.1	410.0	51.2	39.1	607.5	50.6	43.5
12	200.0	50.0	48.1	200.0	50.0	48.1	410.0	51.2	39.1	410.0	51.2	39.1	607.5	50.6	43.5
13	200.0	50.0	48.1	197.5	49.4	52.7	407.5	50.9	41.3	410.0	51.2	39.1	602.5	50.2	46.5
14	200.0	50.0	48.1	197.5	49.4	52.7	400.0	50.0	48.1	402.5	50.3	45.8	597.5	49.8	49.6
15	200.0	50.0	48.1	197.5	49.4	52.7	400.0	50.0	48.1	400.0	50.0	48.1	592.5	49.4	52.7
16	200.0	50.0	48.1	197.5	49.4	52.7	400.0	50.0	48.1	400.0	50.0	48.1	590.0	49.2	54.3
17	197.5	49.4	52.7	197.5	49.4	52.7	397.5	49.7	50.4	397.5	49.7	50.4	590.0	49.2	54.3
18	197.5	49.4	52.7	197.5	49.4	52.7	392.5	49.0	55.1	392.5	49.0	55.1	582.5	48.5	59.1
19	197.5	49.4	52.7	197.5	49.4	52.7	392.5	49.0	55.1	392.5	49.0	55.1	582.5	48.5	59.1
20	197.5	49.4	52.7	197.5	49.4	52.7	392.5	49.0	55.1	392.5	49.0	55.1	580.0	48.3	60.7
21	195.0	48.7	57.5	192.5	48.1	62.4	390.0	48.7	57.5	390.0	48.7	57.5	580.0	48.3	60.7
22	195.0	48.7	57.5	192.5	48.1	62.4	390.0	48.7	57.5	387.5	48.4	59.9	577.5	48.1	62.4
23	195.0	48.7	57.5	192.5	48.1	62.4	390.0	48.7	57.5	387.5	48.4	59.9	577.5	48.1	62.4
24	195.0	48.7	57.5	192.5	48.1	62.4	390.0	48.7	57.5	387.5	48.4	59.9	577.5	48.1	62.4
25	192.5	48.1	62.4	192.5	48.1	62.4	385.0	48.1	62.4	382.5	47.7	64.9	570.0	47.4	67.4
26	192.5	48.1	62.4	192.5	48.1	62.4	382.5	47.7	64.9	380.0	47.4	67.4	567.5	47.1	69.1
27	192.5	48.1	62.4	192.5	48.1	62.4	382.5	47.7	64.9	380.0	47.4	67.4	567.5	47.1	69.1
28	192.5	48.1	62.4	192.5	48.1	62.4	382.5	47.7	64.9	380.0	47.4	67.4	567.5	47.1	69.1
29	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	380.0	47.4	67.4	380.0	47.4	67.4	562.5	46.7	72.5
30	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	380.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	560.0	46.4	74.3
31	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	380.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	560.0	46.4	74.3
32	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	380.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	560.0	46.4	74.3
33	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	375.0	46.7	72.5	555.0	45.9	77.8
34	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	372.5	46.3	75.2	552.5	45.7	79.6
35	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	372.5	46.3	75.2	552.5	45.7	79.6
36	190.0	47.4	67.4	190.0	47.4	67.4	377.5	47.0	69.9	372.5	46.3	75.2	552.5	45.7	79.6
37	187.5	46.7	72.5	187.5	46.7	72.5	372.5	46.3	75.2	372.5	46.3	75.2	550.0	45.5	81.4
38	185.0	45.9	77.8	182.5	45.2	83.3	370.0	45.9	77.8	367.5	45.6	80.5	542.5	44.7	87.0
39	185.0	45.9	77.8	182.5	45.2	83.3	367.5	45.6	80.5	367.5	45.6	80.5	540.0	44.4	88.8
40	185.0	45.9	77.8	182.5	45.2	83.3	367.5	45.6	80.5	367.5	45.6	80.5	540.0	44.4	88.8
41	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	365.0	45.2	83.3	362.5	44.8	86.0	540.0	44.4	88.8
42	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	530.0	43.4	96.5
43	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	530.0	43.4	96.5
44	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	357.5	44.1	91.7	530.0	43.4	96.5
45	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	360.0	44.4	88.8	357.5	44.1	91.7	527.5	43.1	98.5
46	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	352.5	43.3	97.5	352.5	43.3	97.5	522.5	42.6	102.5
47	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	352.5	43.3	97.5	352.5	43.3	97.5	522.5	42.6	102.5
48	180.0	44.4	88.8	180.0	44.4	88.8	352.5	43.3	97.5	352.5	43.3	97.5	522.5	42.6	102.5
49	180.0	44.4	88.8	177.5	43.7	94.6	350.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	522.5	42.6	102.5
50	180.0	44.4	88.8	177.5	43.7	94.6	350.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	520.0	42.3	104.5
51	180.0	44.4	88.8	177.5	43.7	94.6	350.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	517.5	42.0	106.6
52	180.0	44.4	88.8	177.5	43.7	94.6	350.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	517.5	42.0	106.6
53	180.0	44.4	88.8	175.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	517.5	42.0	106.6
54	180.0	44.4	88.8	175.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	347.5	42.4	103.5	512.5	41.5	110.7
55	180.0	44.4	88.8	175.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	347.5	42.4	103.5	512.5	41.5	110.7
56	180.0	44.4	88.8	175.0	42.9	100.5	350.0	42.9	100.5	347.5	42.4	103.5	512.5	41.5	110.7
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.xi: Meetgegevens Zeyenzand



11: Zeyen

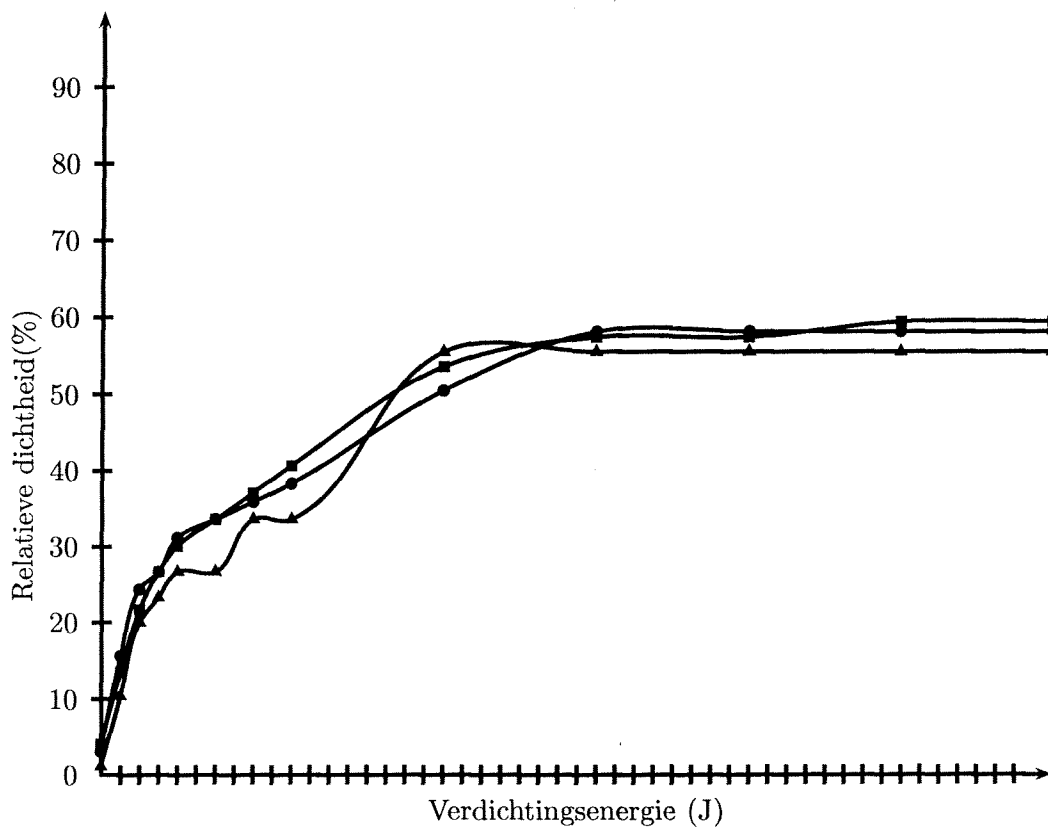
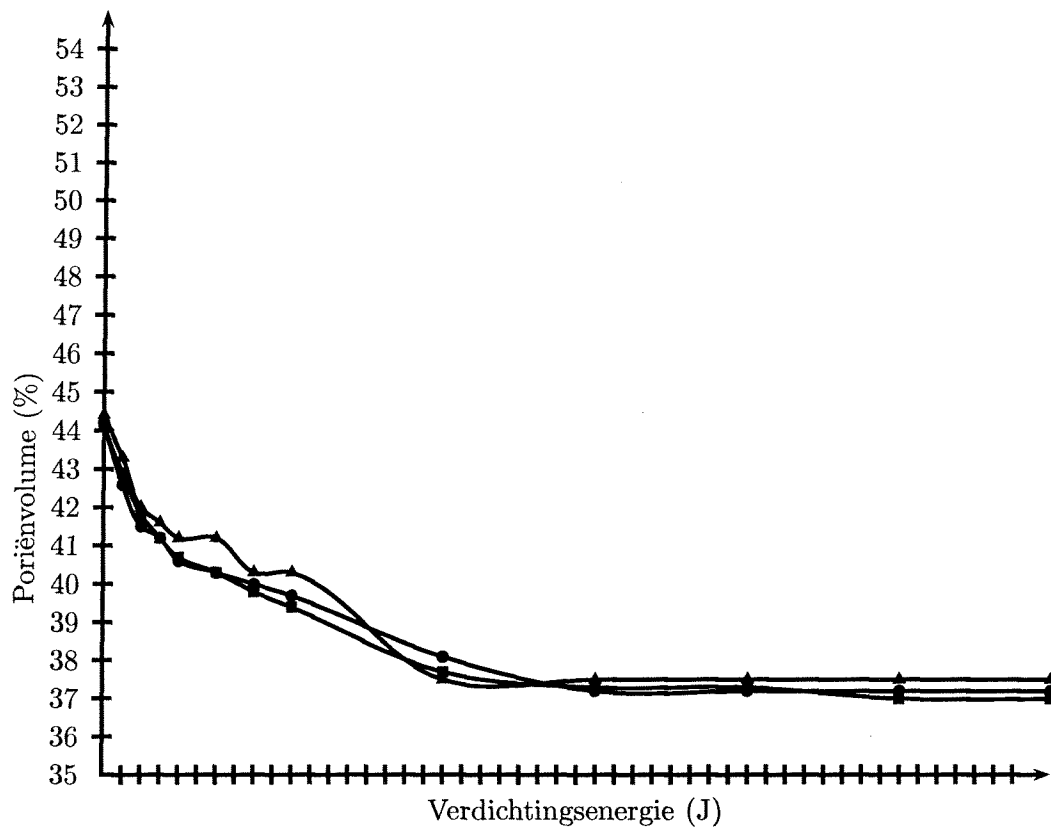


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
2	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
3	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
4	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
5	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
6	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
7	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
8	180.0	44.4	180.0	44.4	1.1	357.5	44.1	4.1	357.5	44.1	4.1	537.5	44.2	3.1	
9	177.5	43.7	175.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	522.5	42.6	15.6	
10	177.5	43.7	175.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	522.5	42.6	15.6	
11	177.5	43.7	175.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	522.5	42.6	15.6	
12	177.5	43.7	175.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	350.0	42.9	13.5	522.5	42.6	15.6	
13	172.5	42.0	172.5	42.0	20.0	342.5	41.6	23.3	345.0	42.0	20.0	512.5	41.5	24.4	
14	172.5	42.0	172.5	42.0	20.0	342.5	41.6	23.3	345.0	42.0	20.0	512.5	41.5	24.4	
15	172.5	42.0	172.5	42.0	20.0	342.5	41.6	23.3	345.0	42.0	20.0	512.5	41.5	24.4	
16	172.5	42.0	172.5	42.0	20.0	342.5	41.6	23.3	345.0	42.0	20.0	512.5	41.5	24.4	
17	170.0	41.2	172.5	42.0	20.0	340.0	41.2	26.7	340.0	41.2	26.7	510.0	41.2	26.7	
18	170.0	41.2	172.5	42.0	20.0	340.0	41.2	26.7	340.0	41.2	26.7	510.0	41.2	26.7	
19	170.0	41.2	172.5	42.0	20.0	340.0	41.2	26.7	340.0	41.2	26.7	510.0	41.2	26.7	
20	170.0	41.2	172.5	42.0	20.0	340.0	41.2	26.7	340.0	41.2	26.7	510.0	41.2	26.7	
21	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	337.5	40.7	30.1	337.5	40.7	30.1	505.0	40.6	31.2	
22	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	337.5	40.7	30.1	337.5	40.7	30.1	505.0	40.6	31.2	
23	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	337.5	40.7	30.1	337.5	40.7	30.1	505.0	40.6	31.2	
24	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	337.5	40.7	30.1	337.5	40.7	30.1	505.0	40.6	31.2	
25	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	332.5	39.8	37.1	337.5	40.7	30.1	502.5	40.3	33.6	
26	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	332.5	39.8	37.1	337.5	40.7	30.1	502.5	40.3	33.6	
27	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	332.5	39.8	37.1	337.5	40.7	30.1	502.5	40.3	33.6	
28	170.0	41.2	170.0	41.2	26.7	332.5	39.8	37.1	337.5	40.7	30.1	502.5	40.3	33.6	
29	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	332.5	39.8	37.1	332.5	39.8	37.1	500.0	40.0	35.9	
30	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	332.5	39.8	37.1	332.5	39.8	37.1	500.0	40.0	35.9	
31	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	332.5	39.8	37.1	332.5	39.8	37.1	500.0	40.0	35.9	
32	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	332.5	39.8	37.1	332.5	39.8	37.1	500.0	40.0	35.9	
33	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	330.0	39.4	40.7	330.0	39.4	40.7	497.5	39.7	38.3	
34	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	330.0	39.4	40.7	330.0	39.4	40.7	497.5	39.7	38.3	
35	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	330.0	39.4	40.7	330.0	39.4	40.7	497.5	39.7	38.3	
36	167.5	40.3	167.5	40.3	33.6	330.0	39.4	40.7	330.0	39.4	40.7	497.5	39.7	38.3	
37	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	320.0	37.5	55.5	322.5	38.0	51.7	485.0	38.1	50.5	
38	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	320.0	37.5	55.5	322.5	38.0	51.7	485.0	38.1	50.5	
39	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	320.0	37.5	55.5	322.5	38.0	51.7	485.0	38.1	50.5	
40	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	320.0	37.5	55.5	322.5	38.0	51.7	485.0	38.1	50.5	
41	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
42	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
43	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
44	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
45	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
46	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
47	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
48	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	320.0	37.5	55.5	477.5	37.2	58.1	
49	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
50	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
51	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
52	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
53	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
54	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
55	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
56	160.0	37.5	160.0	37.5	55.5	317.5	37.0	59.4	317.5	37.0	59.4	477.5	37.2	58.1	
57															
58															
59															
60															

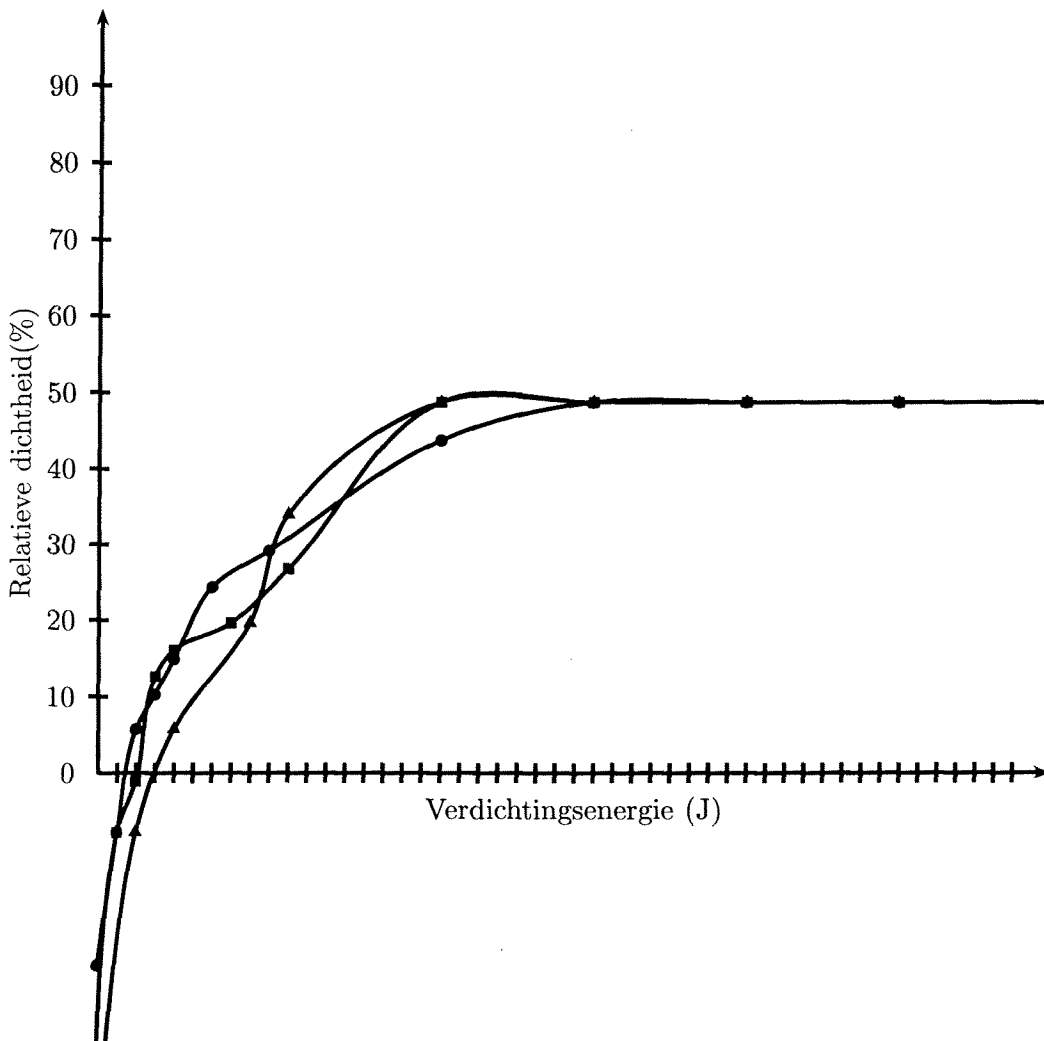
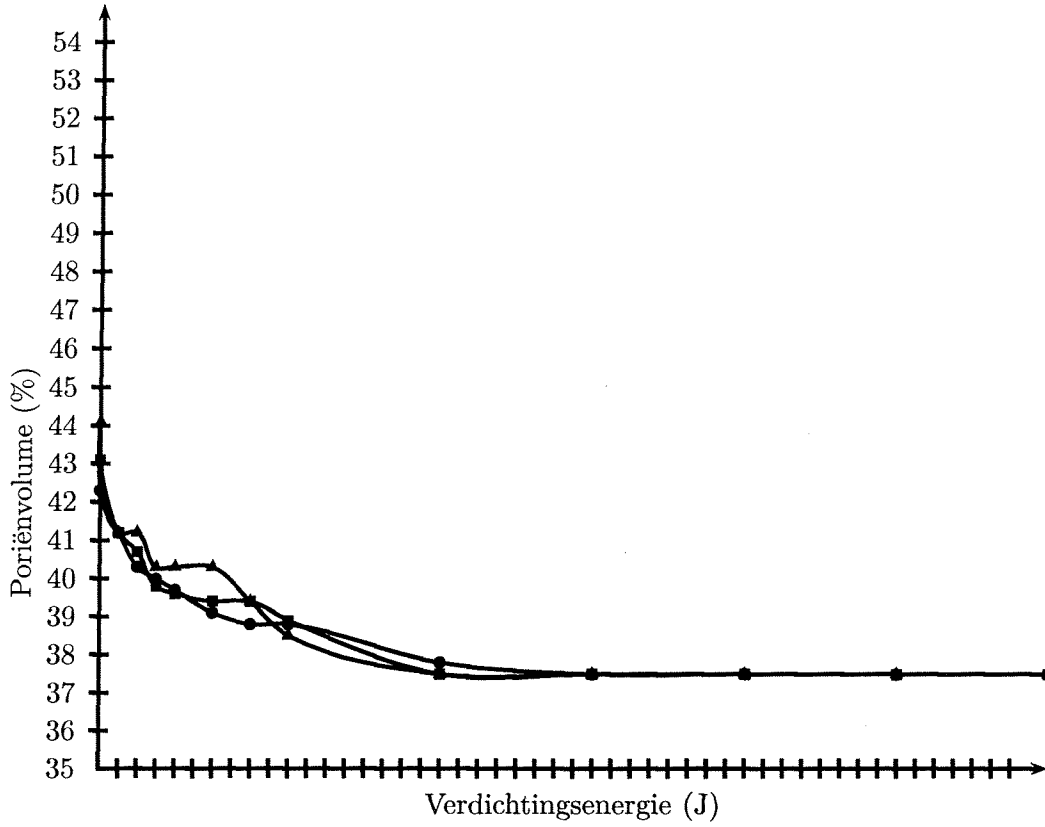
Tabel IV.xii: Meetgegevens Rijsbergen

12: Rijsbergen





13: Glasparels

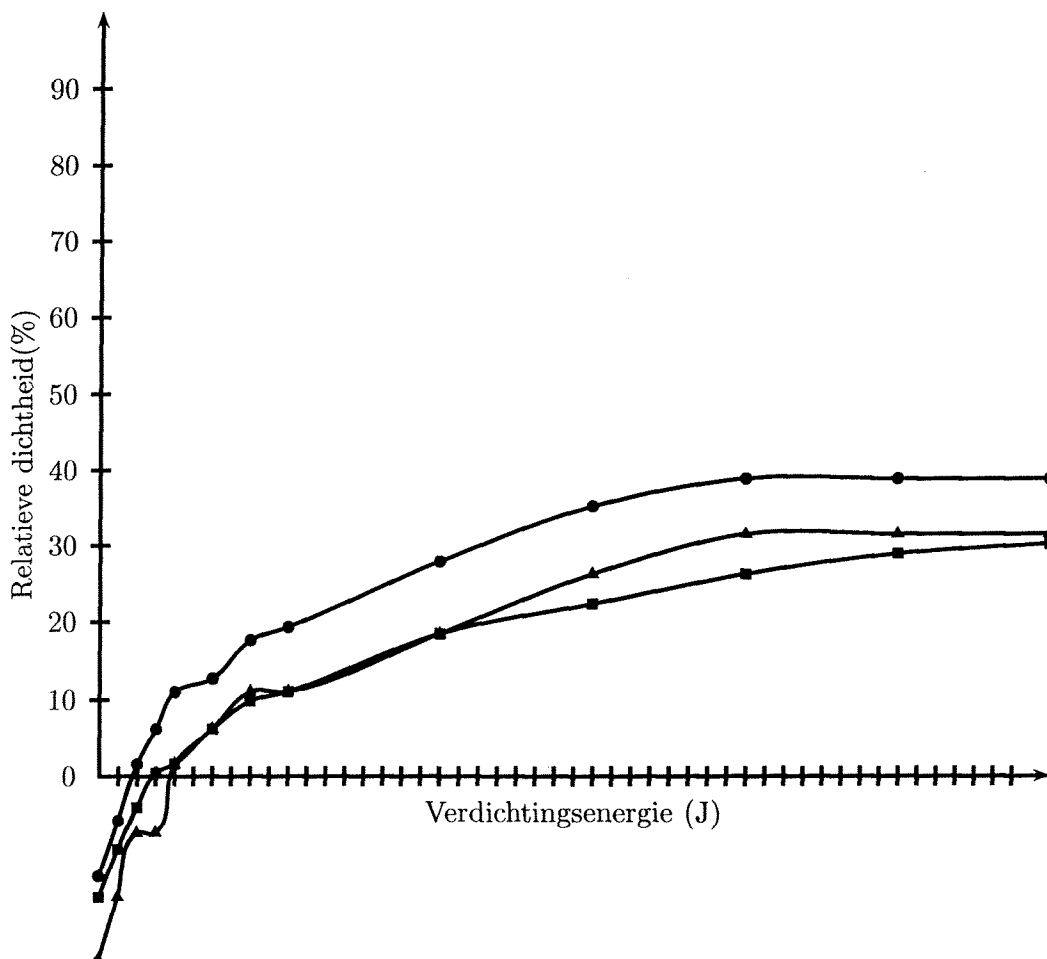
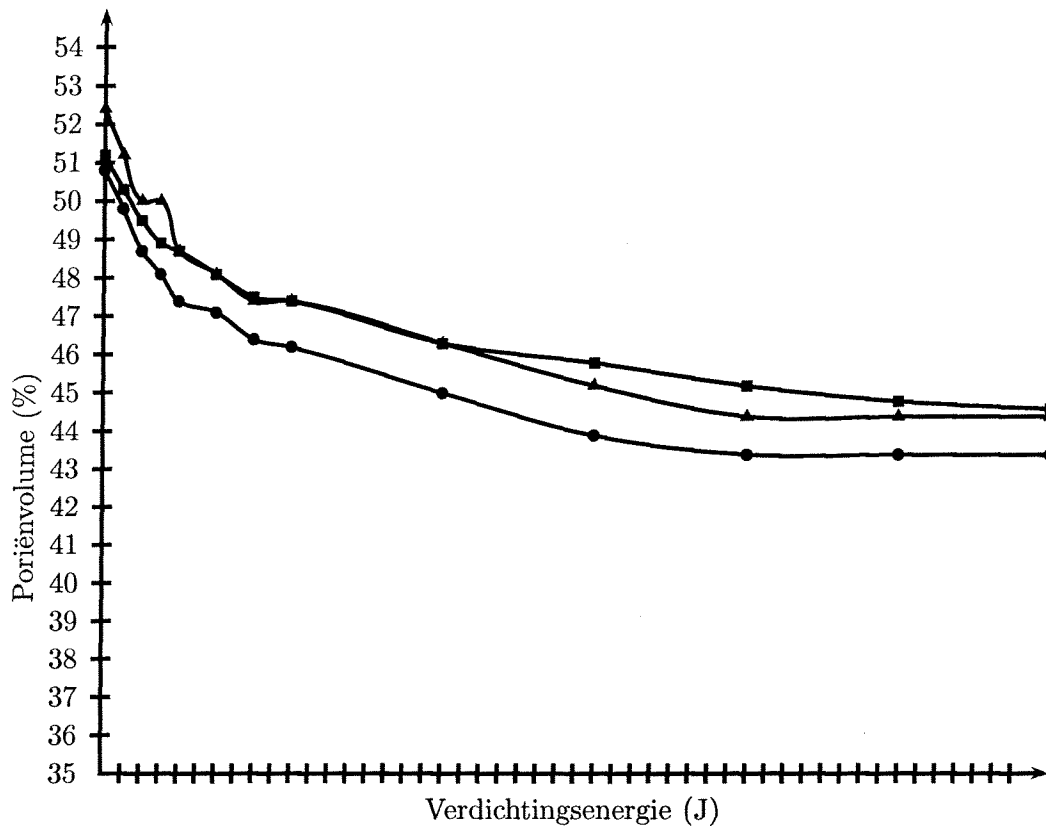


BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
2	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
3	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
4	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
5	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
6	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
7	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
8	210.0	52.4	-24.1	210.0	52.4	-24.1	410.0	51.2	-15.9	410.0	51.2	-15.9	610.0	50.8	-13.1
9	205.0	51.2	-15.9	205.0	51.2	-15.9	402.5	50.3	-9.6	402.5	50.3	-9.6	597.5	49.8	-5.9
10	205.0	51.2	-15.9	205.0	51.2	-15.9	402.5	50.3	-9.6	402.5	50.3	-9.6	595.0	49.6	-4.5
11	205.0	51.2	-15.9	205.0	51.2	-15.9	402.5	50.3	-9.6	402.5	50.3	-9.6	595.0	49.6	-4.5
12	205.0	51.2	-15.9	205.0	51.2	-15.9	402.5	50.3	-9.6	402.5	50.3	-9.6	595.0	49.6	-4.5
13	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	397.5	49.7	-5.2	395.0	49.4	-3.0	585.0	48.7	1.6
14	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	397.5	49.7	-5.2	395.0	49.4	-3.0	585.0	48.7	1.6
15	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	397.5	49.7	-5.2	395.0	49.4	-3.0	585.0	48.7	1.6
16	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	397.5	49.7	-5.2	395.0	49.4	-3.0	585.0	48.7	1.6
17	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	392.5	49.0	-0.7	390.0	48.7	1.6	577.5	48.1	6.2
18	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	392.5	49.0	-0.7	390.0	48.7	1.6	577.5	48.1	6.2
19	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	392.5	49.0	-0.7	390.0	48.7	1.6	577.5	48.1	6.2
20	200.0	50.0	-7.4	200.0	50.0	-7.4	392.5	49.0	-0.7	390.0	48.7	1.6	577.5	48.1	6.2
21	195.0	48.7	1.6	195.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	570.0	47.4	11.0
22	195.0	48.7	1.6	195.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	570.0	47.4	11.0
23	195.0	48.7	1.6	195.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	570.0	47.4	11.0
24	195.0	48.7	1.6	195.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	390.0	48.7	1.6	570.0	47.4	11.0
25	192.5	48.1	6.2	192.5	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	567.5	47.1	12.7
26	192.5	48.1	6.2	192.5	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	567.5	47.1	12.7
27	192.5	48.1	6.2	192.5	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	567.5	47.1	12.7
28	192.5	48.1	6.2	192.5	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	385.0	48.1	6.2	567.5	47.1	12.7
29	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	382.5	47.7	8.6	560.0	46.4	17.6
30	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	382.5	47.7	8.6	560.0	46.4	17.6
31	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	382.5	47.7	8.6	560.0	46.4	17.6
32	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	382.5	47.7	8.6	560.0	46.4	17.6
33	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	557.5	46.2	19.3
34	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	557.5	46.2	19.3
35	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	557.5	46.2	19.3
36	190.0	47.4	11.0	190.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	380.0	47.4	11.0	557.5	46.2	19.3
37	185.0	45.9	21.0	187.5	46.7	16.0	370.0	45.9	21.0	375.0	46.7	16.0	545.0	45.0	27.9
38	185.0	45.9	21.0	187.5	46.7	16.0	370.0	45.9	21.0	375.0	46.7	16.0	545.0	45.0	27.9
39	185.0	45.9	21.0	187.5	46.7	16.0	370.0	45.9	21.0	375.0	46.7	16.0	545.0	45.0	27.9
40	185.0	45.9	21.0	187.5	46.7	16.0	370.0	45.9	21.0	375.0	46.7	16.0	545.0	45.0	27.9
41	182.5	45.2	26.2	182.5	45.2	26.2	367.5	45.6	23.6	370.0	45.9	21.0	535.0	43.9	35.2
42	182.5	45.2	26.2	182.5	45.2	26.2	367.5	45.6	23.6	370.0	45.9	21.0	535.0	43.9	35.2
43	182.5	45.2	26.2	182.5	45.2	26.2	367.5	45.6	23.6	370.0	45.9	21.0	535.0	43.9	35.2
44	182.5	45.2	26.2	182.5	45.2	26.2	367.5	45.6	23.6	370.0	45.9	21.0	535.0	43.9	35.2
45	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	367.5	45.6	23.6	530.0	43.4	38.9
46	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	367.5	45.6	23.6	530.0	43.4	38.9
47	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	367.5	45.6	23.6	530.0	43.4	38.9
48	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	367.5	45.6	23.6	530.0	43.4	38.9
49	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	365.0	45.2	26.2	530.0	43.4	38.9
50	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	365.0	45.2	26.2	530.0	43.4	38.9
51	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	365.0	45.2	26.2	530.0	43.4	38.9
52	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	365.0	45.2	26.2	530.0	43.4	38.9
53	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	530.0	43.4	38.9
54	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	530.0	43.4	38.9
55	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	530.0	43.4	38.9
56	180.0	44.4	31.5	180.0	44.4	31.5	360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8	530.0	43.4	38.9
57							360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8			
58							360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8			
59							360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8			
60							360.0	44.4	31.5	362.5	44.8	28.8			

Tabel IV.xiv: Meetgegevens Brekerzand

14: Brekerzand



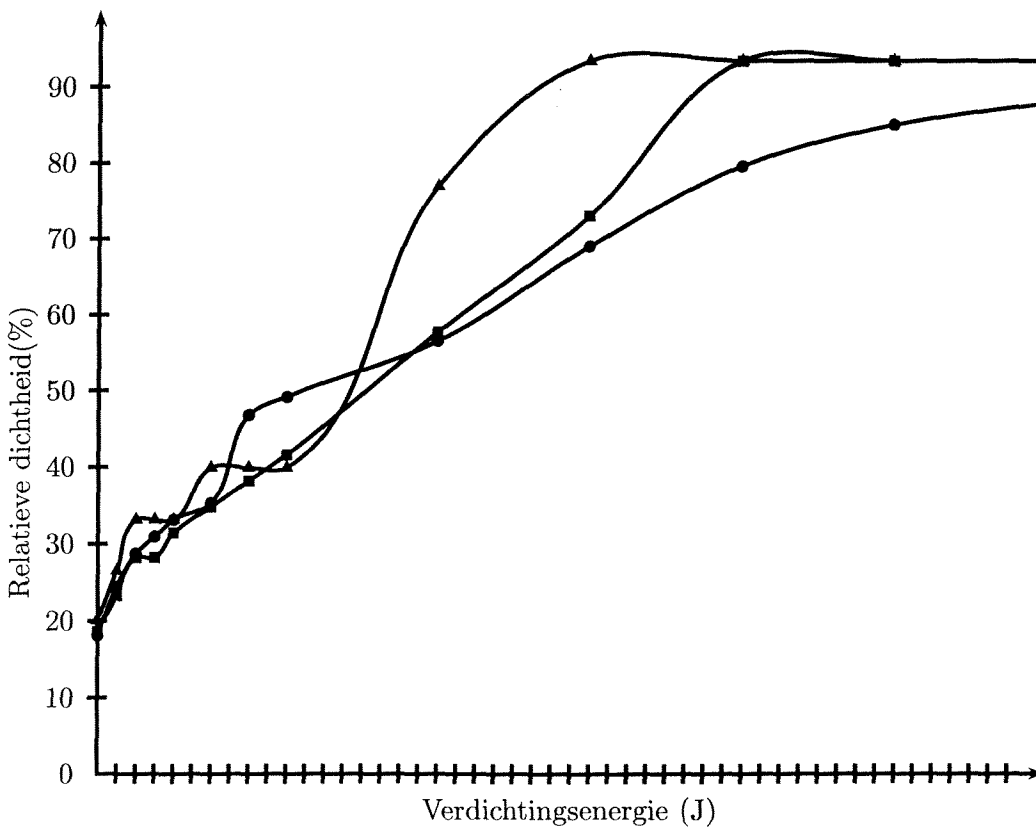
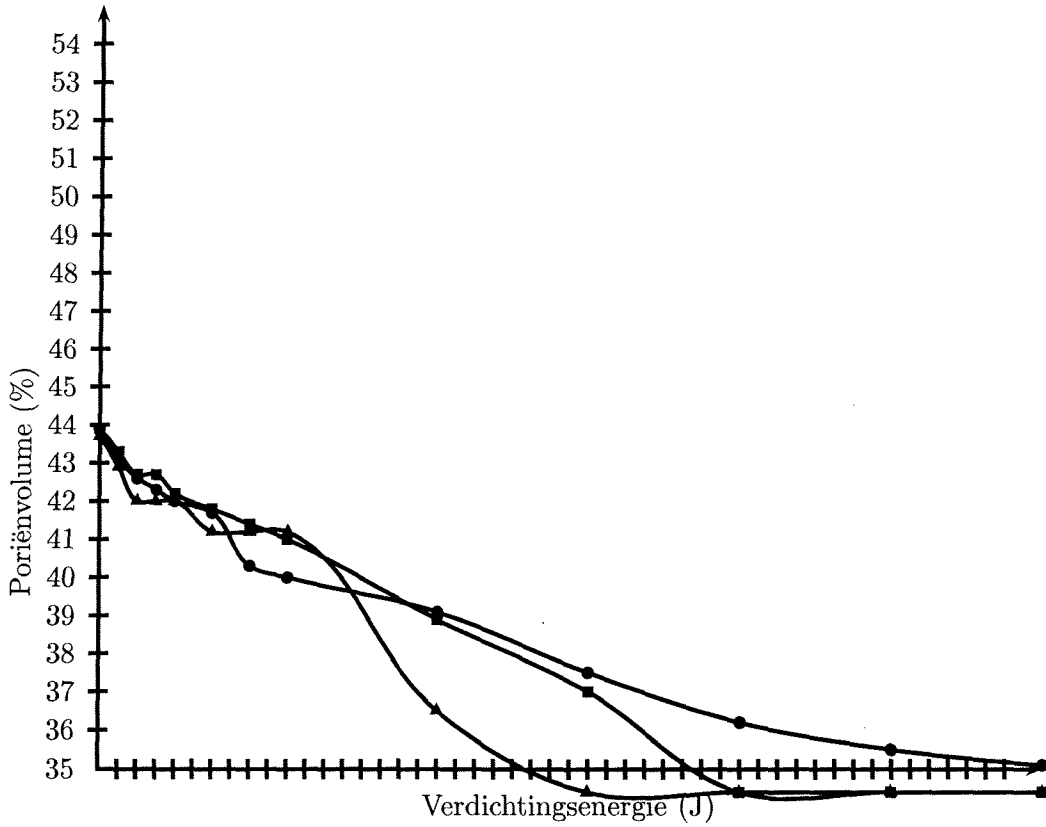
BEUNBEZINKPROCESSEN

Tijd (min)	C10						C20						C30		
	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	V <sub>t</sub> (ml)	n <sub>situ</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)
0															
1	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
2	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
3	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
4	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
5	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
6	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
7	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
8	177.5	43.7	20.1	177.5	43.7	20.1	357.5	44.1	17.0	355.0	43.7	20.1	535.0	43.9	18.1
9	175.0	42.9	26.5	175.0	42.9	26.5	355.0	43.7	20.1	350.0	42.9	26.5	527.5	43.1	24.4
10	175.0	42.9	26.5	175.0	42.9	26.5	355.0	43.7	20.1	350.0	42.9	26.5	527.5	43.1	24.4
11	175.0	42.9	26.5	175.0	42.9	26.5	355.0	43.7	20.1	350.0	42.9	26.5	527.5	43.1	24.4
12	175.0	42.9	26.5	175.0	42.9	26.5	355.0	43.7	20.1	350.0	42.9	26.5	527.5	43.1	24.4
13	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	522.5	42.6	28.7
14	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	522.5	42.6	28.7
15	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	522.5	42.6	28.7
16	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	522.5	42.6	28.7
17	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	520.0	42.3	30.9
18	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	520.0	42.3	30.9
19	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	520.0	42.3	30.9
20	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	350.0	42.9	26.5	347.5	42.4	29.8	520.0	42.3	30.9
21	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	347.5	42.4	29.8	345.0	42.0	33.1	517.5	42.0	33.1
22	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	347.5	42.4	29.8	345.0	42.0	33.1	517.5	42.0	33.1
23	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	347.5	42.4	29.8	345.0	42.0	33.1	517.5	42.0	33.1
24	172.5	42.0	33.1	172.5	42.0	33.1	347.5	42.4	29.8	345.0	42.0	33.1	517.5	42.0	33.1
25	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	345.0	42.0	33.1	342.5	41.6	36.5	515.0	41.7	35.3
26	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	345.0	42.0	33.1	342.5	41.6	36.5	515.0	41.7	35.3
27	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	345.0	42.0	33.1	342.5	41.6	36.5	515.0	41.7	35.3
28	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	345.0	42.0	33.1	342.5	41.6	36.5	515.0	41.7	35.3
29	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	342.5	41.6	36.5	340.0	41.2	39.9	502.5	40.3	46.8
30	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	342.5	41.6	36.5	340.0	41.2	39.9	502.5	40.3	46.8
31	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	342.5	41.6	36.5	340.0	41.2	39.9	502.5	40.3	46.8
32	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	342.5	41.6	36.5	340.0	41.2	39.9	502.5	40.3	46.8
33	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	340.0	41.2	39.9	337.5	40.7	43.3	500.0	40.0	49.2
34	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	340.0	41.2	39.9	337.5	40.7	43.3	500.0	40.0	49.2
35	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	340.0	41.2	39.9	337.5	40.7	43.3	500.0	40.0	49.2
36	170.0	41.2	39.9	170.0	41.2	39.9	340.0	41.2	39.9	337.5	40.7	43.3	500.0	40.0	49.2
37	157.5	36.5	76.9	157.5	36.5	76.9	327.5	38.9	57.7	327.5	38.9	57.7	492.5	39.1	56.5
38	157.5	36.5	76.9	157.5	36.5	76.9	327.5	38.9	57.7	327.5	38.9	57.7	492.5	39.1	56.5
39	157.5	36.5	76.9	157.5	36.5	76.9	327.5	38.9	57.7	327.5	38.9	57.7	492.5	39.1	56.5
40	157.5	36.5	76.9	157.5	36.5	76.9	327.5	38.9	57.7	327.5	38.9	57.7	492.5	39.1	56.5
41	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	317.5	37.0	73.0	317.5	37.0	73.0	480.0	37.5	69.0
42	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	317.5	37.0	73.0	317.5	37.0	73.0	480.0	37.5	69.0
43	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	317.5	37.0	73.0	317.5	37.0	73.0	480.0	37.5	69.0
44	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	317.5	37.0	73.0	317.5	37.0	73.0	480.0	37.5	69.0
45	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	307.5	35.0	89.2	470.0	36.2	79.6
46	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	307.5	35.0	89.2	470.0	36.2	79.6
47	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	307.5	35.0	89.2	470.0	36.2	79.6
48	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	307.5	35.0	89.2	470.0	36.2	79.6
49	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	305.0	34.4	93.4	465.0	35.5	85.0
50	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	305.0	34.4	93.4	465.0	35.5	85.0
51	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	305.0	34.4	93.4	465.0	35.5	85.0
52	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	310.0	35.5	85.0	305.0	34.4	93.4	465.0	35.5	85.0
53	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	307.5	35.0	89.2	305.0	34.4	93.4	462.5	35.1	87.8
54	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	307.5	35.0	89.2	305.0	34.4	93.4	462.5	35.1	87.8
55	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	307.5	35.0	89.2	305.0	34.4	93.4	462.5	35.1	87.8
56	152.5	34.4	93.4	152.5	34.4	93.4	307.5	35.0	89.2	305.0	34.4	93.4	462.5	35.1	87.8
57															
58															
59															
60															

Tabel IV.xv: Meetgegevens Alpha Bay



Alpa Bay





## Bijlage V

# Literatuurlijst

Bezemer, B.; Slagboom, T.[1981] Pore volumes of sand, Report 7.1180, Royal Boskalis Westminster, Papendrecht

Camp[1970] Hopperzuigers: overstortverliezen, file 26a, Ballast Nedam

CUR[1992] Artificial sand fills in water, report 152

Floss, R.[1970] Vergleich Verdichtungs- und Verformungseigenschaften unstetiger und stetiger Kiessande hinsichtlich ihrer Eignung als ungebundenes Schüttmaterial im Strassenbau, Wissenschaftliche Berichte, Heft 9, Bundesanstalt für Strassenwesen

Groot, J.M.[1981] Rapport beunbezinking, Boskalis

Heezen, F.T.; Stap, A.C.M. van der[1985] Onderwater gestorte zandlichamen, Deel I en II, Afstudeerwerk TU-Delft, faculteit der Civiele Techniek

Koning, J. de[1977] Constant tonnage loading system of trailing suction hopper dredgers, Proc. Grad Courses Civil Eng., Paper D6 34 pp

Mastbergen, D.R.; Bezuijen, A.; Winterwerp, J.C.[1988] Het storten van zand onder water, Delft Waterloppkundig Laboratorium

Miedema, S.A.[1981] Het in- en uitstromen van baggerspecie in en uit hoppers, TH-Delft afdeling werktuigbouw

Richardson, J.F.; Zaki W.N.[1954] Sedimentation and fluidisation, Part 1, Trans. Inst Chemical Engineers, Vol 32

Runge, A.C.; Ruijg, B.S.[1998] Eéndimensionale beschouwing van de bezinking van hooggeconcentreerde zandwatermengsels onder turbulente omstandigheden, Afstudeerwerk TU-Delft, faculteit der Civiele Techniek

Schrieck, G.L.M. van der[1996] Baggertechniek, Dictaten F14, TU-Delft, faculteit der Civiele Techniek

SCW[1979] Various properties of Dutch Sands, record 4

Terzaghi, K.; Peck, R.B.[1967] Soil mechanics in engineering practice, John Wiley and sons, New York

Theijse, W.J.C.[1990] Onderzoek naar het optimaliseren van het laden van een sleepopperzuiger met fijn zand, HAM boek 02-3180, HAM

Veldhuis, A.[1992] Uitlevering van zand, Afstudeerwerk TU-Delft. faculteit der Civiele Techniek

Verhoeven, F.A.; Volders, R.H.[1988] Scherpte van zand, Afstudeerwerk TU-Delft, faculteit der Civiele Techniek

Wijnant, I.L.[1992] Literatuurstudie Beunbezinkprocessen , BAGT 470, Waterloopkundig Laboratorium Delft

Yagi, T.[1970] Sedimentation effects of soil in hopper, World Dredging and Marine Construction

Youd, T.L.[1973] ASTM special technical publication 523