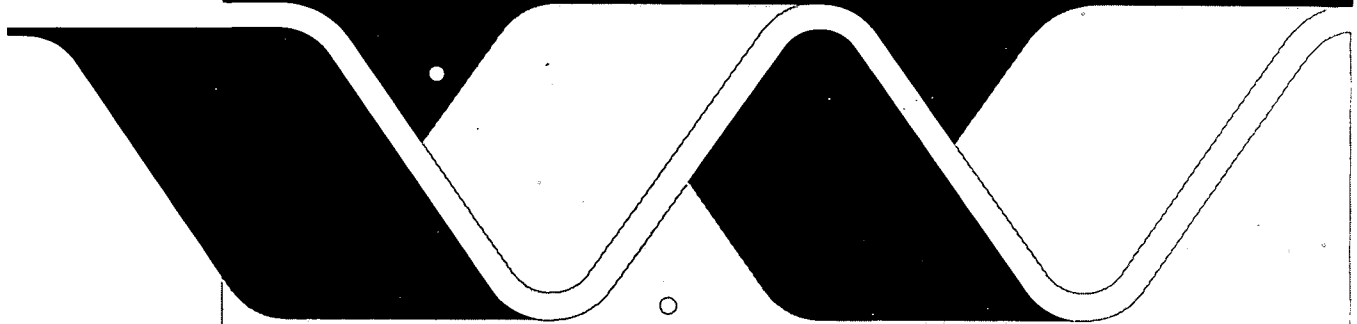


Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



erosie door open taludbekledingen

praktijkgericht onderzoek oevers

H 657 bijlage B
november 1988

verslag modelonderzoek



erosie door open taludbekledingen

praktijkgericht onderzoek oevers

verslag modelonderzoek

H.J. Verhey en J.H. Laboyrie

INHOUD

	blz.
1. Inleiding.....	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Probleemstelling.....	1
1.3 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen.....	2
2. Onderzoekopzet.....	4
2.1 Modelfaciliteit en instrumentatie.....	4
2.2 Open bekledingsblokken.....	5
2.3 Gatvulling.....	6
2.4 Proevenprogramma.....	7
3. Meetresultaten.....	9
3.1 Algemeen.....	9
3.2 Stroomsnelheden en golfhoogten.....	9
3.3 Erosie.....	14
3.4 Conclusies.....	16
4. Analyse meetresultaten.....	17
4.1 Algemeen.....	17
4.2 Evenwichtserosiediepte.....	17
4.3 Erosieproces.....	18
4.4 Toetsing onderzoeksresultaten aan literatuurformules.....	21
4.5 Stroomsnelheden boven en in een open taludbekleding.....	22
4.6 Conclusies.....	25
5. Ontwerpgerichte aanbevelingen.....	26

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

FOTOBLAGEN

TABELLEN

1. Positie instrumenten
2. Proevenprogramma zand
3. Proevenprogramma grond
4. Gemeten golfhoogten en golfploop
5. Gemeten watersnelheden in de lokaties 1 t/m 5
6. Gemeten watersnelheden in de lokaties 6 t/m 10
7. Gemeten watersnelheden in de lokaties 11 en 12
8. Geregistreeerde erosie, proefserie T11 t/m T14
9. Geregistreeerde erosie, proefserie T100 t/m T103
10. Geregistreeerde erosie, proefserie T104 t/m T107
11. Geregistreeerde erosie, proefserie T200 t/m T205
12. Geregistreeerde erosie, proefserie T206 t/m T211
13. Geregistreeerde erosie, proefserie T212 t/m T215
14. Geregistreeerde erosie, proefserie T300 t/m T307
15. Geregistreeerde erosie, proefserie T308 t/m T314
16. Geregistreeerde erosie, proefserie T315 t/m T319
17. Geregistreeerde erosie, proefserie T400 t/m T405
18. Geregistreeerde erosie, proefserie T406 t/m T412
19. Geregistreeerde erosie, proefserie T413 t/m T418
20. Geregistreeerde erosie, proefserie T500 t/m T506
21. Geregistreeerde erosie, proefserie T510 t/m T516
22. Geregistreeerde erosie, proefserie T520 t/m T526
23. Geregistreeerde erosie, proefserie T600 t/m T606
24. Geregistreeerde erosie, proefserie T610 t/m T616
25. Geregistreeerde erosie, proefserie T620 t/m T626
26. Berekeningsgegevens voor vertaling meetresultaten
naar de werkelijke scheepsgeïnduceerde waterbeweging
27. Geschatte waarden evenwichtsontgrondingsdiepte Y_e en
bijbehorende aantal golven N_e

FIGUREN

1. Definities
2. Overzicht modelfaciliteit
3. Meetsectie met positie instrumenten
4. Doorsnede talud ter plaatse van meetsectie met bloknummering
5. Open bekledingsblok
6. Korrelverdelingen zand en grond
7. Gronddriehoek
8. Snelheidsprofielen SHM's 11 en 12
9. Vergelijking gemiddelden en extreme erosie, alle waarden
10. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
11. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
12. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
13. Erosie als functie van golfhoopte en aantal golven
14. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
15. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
16. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
17. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
18. Erosie als functie van golfhoogte en aantal golven
19. Invloed gatgrootte G
20. Invloed gatgrootte G
21. Invloed gatgrootte G
22. Invloed gatvulling
23. Invloed gatvulling
24. Invloed gatvulling
25. Verband tussen u_r en v_s
26. Verband tussen z_{\max} en v_s
27. Verband tussen z_{\max} en u_{\max}
28. Vertaling van H naar z_{\max} en u_{\max}
29. Y_e en N_e als functie van G
30. Y_e als functie van de waterbeweging
31. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
32. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
33. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
34. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
35. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
36. Semilogaritmisch verband tussen erosie en aantal golven
37. Verband tussen c_1 , G , u_{\max} en type grond
38. Toetsing c_1 -waarden

FIGUREN (vervolg)

39. Toetsing erosie Y

40. Gemeten en berekende snelheidsprofielen

41. Vergelijking gemeten en berekende stroomsnelheid

FOTBLADEN

- 1 Overzicht meetfaciliteit, open talud-bekledingsblok, overzicht meetinstrumenten en meetsectie.
- 2 Waterbeweging boven meetsectie en gedeeltelijk geërodeerde gaten.

SYMBOLLEN

b_w	breedte vaarweg op de waterspiegel	m
C	coëfficiënt van Chézy	$m^{1/2} \cdot s^{-1}$
c	faktor voor grond invloed	$m^{1/2}$
c_1 t/m c_7	coëfficiënten, exponenten	-
D	blokdikte	m
D_{50}	karakteristieke korreldiameter onderschreden door 50%	m
G	gatgrootte	m
g	versnelling zwaartekracht	$m \cdot s^{-2}$
H	golfhoogte	m
h	waterdiepte	m
k_s	hydraulische ruwheid volgens Nikuradse	m
N	aantal golven of langsvarende schepen	-
N_e	aantal golven behorend bij evenwichtserosiediepte Y_e	-
R	hydraulische straal	m
R_u	golfoploop	m
T	golfperiode	s
T_g	type grond	-
u	snelheidscomponent samenvallend met x-richting	$m \cdot s^{-1}$
u_w	snelheid in neer in een gat	$m \cdot s^{-1}$
\bar{u}	gemiddelde stroomsnelheid	$m \cdot s^{-1}$
\hat{u}_r	maximale retourstroomsnelheid nabij talud	$m \cdot s^{-1}$
u_*	schuifspanningssnelheid	$m \cdot s^{-1}$
$u(z)$	stroomsnelheid op hoogte z	$m \cdot s^{-1}$
u_{max}	stroomsnelheid in de haalgolf	$m \cdot s^{-1}$
v	snelheidscomponent samenvallend met y-richting	$m \cdot s^{-1}$
v_s	scheepssnelheid	$m \cdot s^{-1}$
W	blokbreedte in stroomrichting	m
x	coördinaat in stroomrichting	m
Y	erosiediepte	m
Y_e	evenwichtserosiediepte	m
y	coördinaat loodrecht op stroomrichting	m
y_s	afstand scheepsas-vaarwegas	m
z	verticale coördinaat	m
z_{max}	haalgolfhoogte	m
Δ	relatieve dichtheid	-
ρ	dichtheid water	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_s	dichtheid materiaal	$kg \cdot m^{-3}$
τ	bodemschuifspanning	$N \cdot m^{-2}$
ψ	schuifspanningsparameter	-

EROSIE DOOR OPEN TALUDBEKLEDINGEN

1. Inleiding

1.1 Opdracht

Open taludbekledingen die bestaan uit in verband geplaatste betonblokken met gaten, bieden de mogelijkheid vegetatie te doen groeien, waardoor mogelijk een milieuvriendelijke oever kan worden verkregen. In het pioniersstadium van de vegetatie is het evenwel ongewenst dat de gatvulling uitspoelt. Teneinde de relatie tussen waterbeweging en erosie van de gatvulling vast te stellen is door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat d.d. 16 maart 1987 per brief (kenmerk WB 570) opdracht verleend aan het Waterloopkundig Laboratorium onderzoek hiernaar te verrichten. De resultaten van het gehele onderzoek "Erosie door open taludbekledingen" zijn in een samenvattend rapport vastgelegd [1]. Het onderhavige rapport bevat de resultaten van modelonderzoek met betrekking tot oevers. Het onderzoek is uitgevoerd door ir. J.H. Laboyrie onder begeleiding van ir. H.J. Verhey. De laatste stelde tevens dit verslag samen.

1.2 Probleemstelling

De scheepsgeïnduceerde waterbeweging kan op oevers resulteren in belastingen die deze oever doen eroderen. Deze erosie kan onder andere worden tegengegaan door een open taludbekleding toe te passen, waarbij zich in de gaten een vegetatie heeft ontwikkeld. Vanaf de aanleg van de constructie tot enige tijd daarna is de vegetatie echter niet volgroeid en bijgevolg niet in staat voldoende bij te dragen aan de weerstand van de gatvulling tegen belastingen. In die eerste fase kan dus de gatvulling uitspoelen. Voorwaarde voor het zich vestigen van een vegetatie is echter, dat de gatvulling niet volledig uitspoelt.

Een bureaustudie [2], uitgevoerd in het kader van het gehele project, heeft onder andere geresulteerd in de conclusie, dat de beschikbare literatuur onvoldoende mogelijkheden biedt om de erosie van een gatvulling te voorspellen. Fysisch modelonderzoek moet nu leiden tot ontwerpcriteria ten aanzien van de uitspoeling van een gatvulling. De hoofddoelstelling daarbij is:

- bepalen van de evenwichtsdiepte van de ontgronding in de gaten voor reële scheepsgeïnduceerde belastingen.

Nevendoelstellingen zijn:

- bepalen van het verband tussen enerzijds de stroomsnelheid vlak boven het talud als resultaat van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging en anderzijds de mate van erosie voor verschillende verhoudingen tussen gatgrootte en gatdiepte,
- bepalen van het verband tussen het aantal scheepspassages en het erosieproces,
- vaststellen van het verschil in erosiebestendigheid tussen zand en teel-
aarde of grond als gatvulling.

Het onderhavige onderzoek heeft zich beperkt tot de scheepsgeïnduceerde waterbewegingscomponenten retourstroom en haalgolf. De belasting door de component secundaire scheepsgolven is impliciet meegenomen in het fysisch modelonderzoek naar de erosie door open taludbekledingen op dijken [3].

1.3 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Onderzoek is uitgevoerd naar de invloed van de scheepsgeïnduceerde waterbewegingscomponenten haalgolf en retourstroom op de erosie van gatvullingen in open taludbekledingen. Het onderzoek had ten doel praktische, ontwerpgerichte aanbevelingen op te leveren.

In hoofdstuk 2 is een beschrijving gegeven van de uitgevoerde metingen. Aan de orde komen modelfaciliteit en instrumentatie, gebruikte bekledingsblokken en gatvullingen en het proevenprogramma. In hoofdstuk 3 worden de meetresultaten besproken. Achtereenvolgens worden resultaten met betrekking tot stroomsnelheden, golfhoogten en erosie beschouwd. Voorts wordt een relatie gelegd tussen de waterbeweging in het model en de gesimuleerde werkelijke scheepsgeïnduceerde waterbeweging. In hoofdstuk 4 worden de meetresultaten geanalyseerd. Evenwichtserosiediepte en erosieproces worden besproken als functie van belasting, gatafmetingen, gatvulling en aantal golven. Tevens worden de resultaten vergeleken met literatuurformules. Tenslotte worden de stroomsnelheden boven en in een open taludbekleding geanalyseerd. In hoofdstuk 5 tenslotte, worden op basis van de onderzoeksresultaten, ontwerpgerichte aanbevelingen gedaan voor toepassing van open taludbekledingen.

Op basis van de onderzoeksresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Modelopstelling en proevenprogramma maakten een juiste simulatie van de stroomsnelheden in de haalgolf mogelijk, maar niet van de snelheden in de retourstroom.

- Toepassing van open taludbekledingen lijkt mogelijk mits geen extreme belastingen ($u_{\max} < 0,9$ m/s of $z_{\max} < 0,35$ m) optreden en de gatgroottes beperkt blijven tot 80 mm (of ongeveer de halve blokdikte).
- Grond is erosiebestendiger dan zand.
- Het erosieproces kan worden voorspeld met de formules:

$$\frac{Y}{G} = 0,7 (z_{\max})^{0,5} \cdot \log(N+1) \text{ voor zand}$$

$$\frac{Y}{G} = 0,5 (z_{\max})^{0,5} \cdot \log(N+1) \text{ voor grond}$$

waarin:

Y	=	erosiediepte	[m]
G	=	gatgrootte	[m]
z_{\max}	=	haalgolfhoogte	[m]
N	=	aantal golven of langsvarende schepen	[-]

- De meetresultaten stemmen niet overeen met in de literatuur vermelde formules om de erosie te voorspellen.
- De invloed van een open taludbekleding op de stroomsnelheden kon niet worden getoetst.

Het onderzoek is aanleiding om aan te bevelen aanvullende proeven uit te voeren, enerzijds met betrekking tot de haalgolf en anderzijds met betrekking tot de retourstroom. Aanvullende haalgolfproeven zouden resulteren in meer gegevens waardoor een betere erosievoorspellingsformule kan worden verkregen. Het is daarbij gewenst om gatgrootte en blokdikte uitgebreider te variëren. Daarnaast zou door variatie in gatvulling, wat betreft cohesieve eigenschappen en korreldiameter, de parameter c in de erosievoorspellingsformule kunnen worden bepaald. Bij de proefopzet zal bovendien gestreefd moeten worden naar een uitgestrekter taludgedeelte met open taludbekledingsblokken om een betere aanpassing van de snelheidsverticaal te bewerkstelligen.

Ten aanzien van de erosie door retourstroom worden proeven aanbevolen in een stroomgoot.

2. Onderzoeksopzet

Achtereenvolgens worden in dit hoofdstuk behandeld: modelfaciliteit en instrumentatie, toegepaste bekledingsblokken met gatvulling en proevenprogramma. Voor de geometrische parameters van de open bekledingsblokken wordt verwezen naar figuur 1. Tenzij anders vermeld zijn alle snelheden, golfhoogten en afmetingen weergegeven als prototypewaarden.

De fotobladen 1 en 2 geven een indruk van proefopzet, waterbeweging en erosie van gatvullingen.

2.1 Modelfaciliteit en instrumentatie

De proeven zijn uitgevoerd in de Pentagoot van WL in De Voorst. De Pentagoot is een goot met een breedte van 5 m met de mogelijkheid te stromen en te golven. In de goot kunnen golven met een variabele hoogte (maximale golfhoogte $H = 0,40$ m bij een bepaalde golfperiode) en golfperioden T tussen 0,6 en 2,75 s worden opgewekt.

Om de optredende processen juist weer te geven zijn de proeven op een lengteschaal $n_L = 1$ uitgevoerd. Een en ander hangt samen met de beperkte kennis over de invloed van gereduceerde gatafmetingen op het stroombeeld in en boven de gaten en de eventuele erosie [4].

In de goot is in lengterichting een talud ingebouwd met een helling 1:3 (zie figuur 2 en fotoblad 1). Het veel voorkomen van deze taludhelling in de werkelijkheid en redenen van modeltechnische aard (dat wil zeggen de beperkte beschikbare gootbreedte van 5 m) hebben deze keuze bepaald. Het talud is in lengterichting aangelegd, veronderstellend dat de opgewekte golven een gelijke eroderende werking hebben als retourstroom en haalgolf van langsvarende schepen.

Daarbij wordt de retourstroom gesimuleerd door de orbitaalbeweging tijdens een golfdal, die tegengesteld is aan de voortplantingsrichting van de golven. Gedurende de passage van de golftop is de situatie vergelijkbaar met de haalgolf. Elke golf simuleert dus een scheepspassage, waarbij wordt aangetekend dat retourstroom en haalgolf erosiebepalende factoren zijn voor respectievelijk de hogere en lagere gedeelten van het talud.

Om een representatieve haalgolf met voldoende golfhoogte te verkrijgen is het eerste gedeelte van de goot versmald tot 3 m (figuur 2 en fotoblad 1). Aan het eind van de goot was een golfdempende constructie ingebouwd.

Het talud is, met uitzondering van twee rijen open bekledingsblokken in de meetsectie, gemaakt van beton op een ondergrond van zand ($D_{50} = 165 \mu\text{m}$).

Gedurende de proeven zijn waterspiegelveranderingen geregistreerd met golfhoogtemeters (GHM). De watersnelheden zijn vastgelegd met tweedimensionale elektro-magnetische snelheidsmeters (SHM's). In tabel 1 zijn de x-, y- en z-coördinaten van de posities van de meetinstrumenten gegeven. In de figuren 3 en 4 zijn de lokaties van golfhoogte- en snelheidsmeters gepresenteerd, alsmede het assenstelsel. De signalen van de meetinstrumenten zijn vastgelegd met penschrijvers. Opgemerkt moet worden dat vijf snelheidsmeters zijn gebruikt die afwisselend zijn geplaatst in de lokaties SHM 1 t/m 5, SHM 6a t/m 10a, SHM 6b t/m 10b en SHM 6c t/m 10c. Continu registreren in deze groepen van lokaties bleek niet nodig vanwege de goede reproductie. Geen registraties van de snelheden zijn uitgevoerd in de gaten van de bekledingsblokken vanwege het verstorend effect van de snelheidsmeter op de stroming in een gat.

Aanvullend zijn metingen verricht naar de golfoploop met behulp van een stappenbaak en zijn enkele snelheidsprofielen gemeten (SHM 11 en 12) onder stromingsomstandigheden. Doel hiervan was de invloed te onderzoeken van open bekledingsblokken op de snelheidsverticaal. Op fotoblad 1 is een overzicht te zien van de meetinstrumenten.

De erosie in de gaten in de blokken is vastgesteld met behulp van een peilnaald. Hierdoor konden verschillen in bodemligging in verticale richting worden afgeleid tussen proeven onderling en ten opzichte van een nulpeiling. De nauwkeurigheid van de erosiemetingen bedraagt circa 5 mm.

2.2 Open bekledingsblokken

In de meetsectie zijn twee rijen open bekledingsblokken aangebracht op een geotextiel op de ondergrond van zand (zie figuren 3 en 4 voor de bloknummering en de fotobladen 1 en 2). Aangezien de studie zich richt op doorgroeiconstructies met relatief grote gaten (verhouding gatdiepte Y en gatgrootte G tussen 0,1 en 1,0; zie figuur 1 en [2]), is gekozen voor een blokdikte $D = 0,15$ m. Voorts is gekozen voor blokken met de afmetingen $0,30 \times 0,30 \times 0,15$ m³. Deze realistische blokafmetingen vereisen dat de gatdiepte Y ten allen tijde kleiner dient te zijn dan 0,15 m, zijnde de blokdikte D . Immers, voorkomen dient te worden dat als gevolg van ondermijning van de toplaag, instabiliteit van de gehele constructie optreedt. In het model is, voor het geval onverhoopt deze situaties zich toch voordoen, een geotextiel aangebracht. Overigens wordt opgemerkt, dat voor het onderhavige onderzoek en de daarmee samenhangende fysische processen, in principe blokdikte, -lengte en -breedte niet als zodanig van belang zijn. Relevant is wel, dat de gekozen afmetingen, te weten een gatgrootte kleiner of gelijk dan de blokdikte, leiden tot het optreden van

één enkele neer in het blokgat, wat voor de bepaling van de evenwichtsdiepte van de ontgroning van belang is.

Er is een drietal bloktypen onderzocht met een relatieve openingsgrootte (dat wil zeggen verhouding gatoppervlak-blokkoppervlak) tussen 5 en 25%. Gegeven de blokafmetingen heeft dit geresulteerd in een blok met gatgrootte $G = 0,15$ m. Door het plaatsen van profielen in het gat konden blokken met een gatgrootte van 0,12 m en 0,08 m worden verkregen (figuur 5 en fotoblad 1). In onderstaande tabel zijn enkele karakteristieke waarden van de drie bloktypen samengevat.

G [m]	W [m]	relatieve openingsgrootte [%]	gebied waarin Y/G zich kan bevinden [-]
0,08	0,22	7	0 - 1,875
0,12	0,18	16	0 - 1,25
0,15	0,15	25	0 - 1,0

Uit de tabel blijkt dat aan het gewenste bereik voor Y/G (tussen 0,1 en 1,0) wordt voldaan. Voor Y is daarbij een waarde van 0,15 m aangehouden.

2.3 Gatvulling

De gaten van de blokken zijn gevuld met zand danwel met grond (zogenaamde teelaarde). In het geval van zand is gekozen voor een karakteristieke diameter D_{50} gelijk aan 165 μm . De volledige korrelverdeling is gepresenteerd in figuur 6.

In het geval van grond (of teelaarde) is er sprake van sterk lemig, grind- en kleiarm, matig fijn zand met een karakteristieke korreldiameter $D_{50} = 113 \mu\text{m}$. De korrelverdeling is gegeven in figuur 6, terwijl in onderstaande tabel de gewichtspercentages van de diverse minerale bestanddelen zijn vermeld.

mineraal bestanddeel	gewichtsperscentage %
lutumfractie (<2 µm)	4,7
siltfractie (2-63 µm)	20,7
zandfractie (63-2000 µm)	74,6
grindfractie (> 2000 µm)	0,5

Op grond van het geringe percentage lutum (< 8%) en leem (deeltjes < 50 µm: circa 20%) is er geen sprake van echte kleigrond, maar van sterk lemig zand, wat bovendien betekent dat de cohesieve eigenschappen gering zijn. Niet bepaald is het organische stofgehalte, zodat het humeuze karakter onbekend is. Gezien de aanwezigheid van lutum en leemdeeltjes mag echter verwacht worden, dat de gekozen grond geschikt is voor de ontwikkeling van een vegetatie. In [5] wordt met betrekking tot teelaarde voor gras een maximaal lutumgehalte geëist van 20 à 25%.

De gebruikte grond kan worden weergegeven in een gronddriehoek (figuur 7). Vergelijking met de gewenste kleisoorten voor taluds van rivierdijken, leert dat de gebruikte grond hiervoor niet geschikt is [5]. Volgens dezelfde bron is de grond ook niet bijzonder erosiebestendig, want het voldoet niet aan de eisen daarvoor van een lutumgehalte > 20% en een zandgehalte van 25 à 55%.

De gatvulling werd per proefserie in natte toestand in de gaten aangebracht en vervolgens licht aangestampt. De gaten werden volledig gevuld tot aan bovenkant blokken, waarbij eventueel overtollig materiaal met een strijklat werd verwijderd. Het vullen van de gaten werd uitgevoerd zonder water in de goot.

2.4 Proevenprogramma

Essentieel voor het proevenprogramma is dat de opgewekte waterbeweging boven het talud de haalgolf en de retourstroom simuleert, zoals die in werkelijkheid worden opgewekt bij een passerend schip. Op basis van enkele berekeningen en inspeelproeven, waarbij rekening kon worden gehouden met de gegeven modelgeometrie en de gevolgen daarvan zoals shoaling, refractie en diffractie, en met gangbare waarden voor haalgolfhoogte en retourstroomsnelheden, werd gekozen voor een constante waterdiepte van $h = 1,0$ m en een vaste golfperiode van $T = 2,75$ s. De daarbij ingestelde golfhoogten H bedroegen 0,06 m, 0,13 m en 0,17 m (GHM 3). Het aantal golven dat werd opgewekt varieerde van 7 tot 1600, wat kan worden beschouwd als een maat voor het aantal scheepspassages. De proeven zijn

uitgevoerd voor zowel zand als grond. De volgende tabel geeft het proevenprogramma kort samengevat weer. Een meer uitgebreid overzicht is in de tabellen 2 en 3 gegeven.

gatvulling	gatgrootte G [m]	golfhoogte H in lokatie 3 [m]	aantal golven N [-]
zand	0,15	0,06 - 0,17	7 - 1600
	0,12	0,06 - 0,17	7 - 1600
	0,08	0,06 - 0,17	7 - 1600
grond	0,15	0,06 - 0,17	7 - 1600
	0,12	0,06 - 0,17	7 - 1600
	0,08	0,06 - 0,17	7 - 1600

De procedure tijdens het onderzoek was dat per serie proeven (bijvoorbeeld gaten van 0,15 m gevuld met zand en belast door een golfhoogte van 0,06 m) allereerst de gaten volledig werden gevuld en een nulpeiling werd uitgevoerd. Vervolgens werd stapgewijs het aantal golven verhoogd, waarbij na elke stap de erosie van de gatvulling werd vastgesteld. Voor een andere gatvulling en/of een andere gatgrootte of een andere golfhoogte werd deze procedure herhaald, maar niet nadat vooraf de gaten opnieuw waren gevuld.

De golfhoogten zijn continu geregistreerd in de lokaties GHM 2 t/m 5. Wat betreft de stroomsnelheden is reeds opgemerkt dat de vijf beschikbare meters (SHM's) op verschillende lokaties zijn ingezet. Fotoblad 2 geeft een indruk van stroming en erosie boven de open taludbekledingsblokken.

3. Meetresultaten

3.1 Algemeen

De resultaten van de metingen, zoals beschreven in het voorgaande, zullen in dit hoofdstuk worden besproken. Op grond hiervan zullen enkele conclusies worden getrokken. Allereerst zal worden ingegaan op de waterbeweging. Er zal worden aangetoond dat de gesimuleerde scheepsgeïnduceerde belasting wat betreft de haalgolf correct is, maar dat dit niet het geval is voor de retourstroom, terwijl eveneens het aantal golven zal worden gerelateerd aan de scheepvaartintensiteit. Vervolgens zal worden ingegaan op de geregistreeerde erosie. De invloed op de erosie van golfhoogte, aantal golven, gatgrootte, positie gat en gatvulling zal daarbij aan de orde komen.

3.2 Stroomsnelheden en golfhoogten

In de tabellen 4 t/m 6 zijn de gemeten golfhoogten en stroomsnelheden gepresenteerd voor de golfhoogtemeters GHM 1 t/m 5 en snelheidsmeters SHM 1 t/m 10. Betreffende de resultaten vermeld in de tabellen 4 en 5, wordt opgemerkt dat de gepresenteerde waarden gelden voor de gehele proevenserie, waarvan steeds alleen de eerste code is aangegeven. Ten aanzien van tabel 6 geldt dat voor alle proeven met een bepaalde golfhoogte ter plaatse van GHM 3 de snelheden identiek zijn voor een gelijke afstand tot de lokale bodem.

In tabel 4 tenslotte is ook de golfoploop R_u gegeven.

Teneinde een toetsing te kunnen uitvoeren ten aanzien van de stroomsnelheid juist boven een gat en de hydraulische ruwheid k_s is een stromingsproef uitgevoerd. De gemeten snelheden in de vertikaal zijn gepresenteerd in tabel 7.

De geregistreeerde stroomsnelheden en golfhoogten zijn aanleiding tot de volgende opmerkingen. Als de stroomsnelheden voor en na de open taludbekleding worden vergeleken, dan is geen verschil vast te stellen. Dit is verklaarbaar, omdat niet verwacht mocht worden dat de snelheidsverticaal zich reeds zou hebben aangepast aan de gewijzigde ruwheidshoogte. Voorts kan worden vastgesteld dat de stroomsnelheden lager op het talud zeer gering zijn (orde 0,05 à 0,40 m/s). Deze snelheden zijn veel lager dan verwacht mag worden in de scheepsgeïnduceerde retourstroom (later in deze paragraaf wordt hierop terug gekomen). Om die reden is dan ook geen analyse uitgevoerd van erosie door retourstroom. Naar aanleiding hiervan moet geconstateerd worden, dat simuleren van retourstroomsnelheden met behulp van de orbitaalbeweging niet mogelijk is.

Wat betreft de stroomsnelheden juist onder de ongestoorde waterspiegel (SHM 10, zie figuur 3) kan worden geconstateerd dat snelheden tot circa 2,0 m/s zijn geregistreerd. Dergelijke snelheden treden ook in werkelijkheid op in het front van de taludvolgstream, die direct volgt op de haalgolf. De gemeten stroomsnelheden corresponderen evenwel niet met de haalgolfhoogten als die gelijk verondersteld worden aan de gemeten golfhoogten boven het talud. Aangezien de eroderende werking van de haalgolf wordt veroorzaakt door de stroomsnelheden in de haalgolf, zijn deze snelheden gehanteerd bij de verdere analyse van de onderzoeksresultaten en niet de gemeten golfhoogten. Verderop in deze paragraaf zal voor de gemeten snelheden een bijbehorende fictieve haalgolfhoogte worden bepaald, terwijl eveneens een relatie zal worden gelegd met de vaarsnelheid van schepen.

Opgemerkt moet worden, dat ook de geregistreerde golfoploop niet kan worden gebruikt als haalgolfhoogte, want ook deze is te laag ten opzichte van de gemeten snelheden. Bovendien blijkt de geregistreerde golfoploop niet gelijk te zijn aan de golfhoogte, wat in geval van haalgolven wel zou moeten gelden. Een en ander wordt veroorzaakt door de gekozen meetopstelling, waardoor de golven enigszins onder een hoek het talud oplopen.

Ten aanzien van de geregistreerde golfhoogten kan worden vastgesteld, dat er geen lineair verband is tussen de golfhoogte boven het talud en de gegenereerde golfhoogte (vergelijk daartoe GHM 3 met GHM 5). Een toename van de ingestelde ongestoorde golfhoogte resulteerde, in het bijzonder voor de hogere golven, in een zeer geringe toename van de golfhoogte boven het talud, terwijl zoals eerder is vermeld wel de stroomsnelheden toenamen. Dit feit is een bijkomende reden niet de golfhoogten te gebruiken voor de analyse, maar de stroomsnelheden.

De meetresultaten betreffende de simulatie van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging samenvattend (zie ook hierna in deze paragraaf), kan worden geconcludeerd dat dit geen bevredigende resultaten oplevert wat betreft de retourstroom. Simulatie van de haalgolf blijkt goed mogelijk, als wordt uitgegaan van de stroomsnelheden. Visuele waarneming bevestigde eveneens, dat het resulterende golfbeeld vlak voor en ter plaatse van de open bekledingsblokken de karakteristieke haalgolfvorm simuleerde.

Wat betreft de meetresultaten zelf tenslotte, zijn met SHM 11 en SHM 12 snelheidsprofielen geregistreerd in de situatie van stroming ($\bar{u} \approx 1,15$ m/s). De snelheidsprofielen zijn gepresenteerd in figuur 8. Geconstateerd kan worden dat er een zeer gering verschil is tussen de snelheden voor en na de open taludbekledingblokken.

In hoofdstuk 4 zal hierop nader worden teruggekomen.

De geregistreeerde waterbeweging zoals beschreven in het voorgaande dient gerefereerd te worden aan een scheepvaartbelasting en een verkeersintensiteit op de vaarweg. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van relaties tussen de stroomsnelheid u_{\max} in de haalgolf, de haalgolfhoogte z_{\max} en de vaarsnelheid v_s , die zijn ontwikkeld in het kader van het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen" (M1115), [6].

Voor de vaarwegklassen II, IV, V en VI zijn allereerst de afmetingen van het vaarwegdwarsprofiel volgens het normale profiel bepaald op basis van de richtlijnen voor de klassen I t/m IV [7], welke ook voor de klassen V en VI van toepassing zijn verklaard. De relevante gegevens staan tezamen met de maatgevende schepen, vermeld in tabel 26. Hierbij dient te worden aangetekend, dat de afmetingen zijn bepaald voor een vaarwegdwarsprofiel met een talud 1 : 3,5. Voor de in Nederland voorkomende vaarwegen is dit een goede schatting van de gemiddelde taludhelling. In het onderhavige modelonderzoek is een talud 1: 3 toegepast. De optredende verschillen mogen worden verwaarloosd.

Voor iedere combinatie van vaarwegklasse en bijbehorend maatgevend schip zijn de maximale retourstroomsnelheden \hat{u}_r en haalgolfhoogten z_{\max} berekend met een eendimensionaal rekenprogramma als functie van de vaarsnelheid v_s en de positie y_s/b_w van het schip in de vaarweg. De positie y_s/b_w (=de met de vaarwegbreedte op de waterspiegel dimensieloos gemaakte afstand tussen scheepsas en vaarwegas) is daarbij gevarieerd tussen de waarden 0 en 0,25.

In de praktijk vaart circa 95 % van de schepen binnen die grenzen met als gemiddelde waarde 0,15. Alle berekeningsresultaten zijn samengevoegd, resulterend in de figuren 25 en 26. Hierbij dient te worden aangetekend, dat in een bepaalde vaarwegklasse een maatgevend schip de maximale vaarsnelheid (0,9 keer de grenssnelheid volgens Schijf), die is vermeld in tabel 26, niet kan overschrijden. De figuren dienen dus met enige voorzichtigheid te worden gehanteerd.

De snelheden in de haalgolf zijn daarna berekend met de formules [6]:

$$u_{\max} = v_s \left(1 - \frac{\Delta D}{z_{\max}}\right) \quad \text{voor } \frac{z_{\max}}{\Delta D} > 1 \quad (1)$$

$$u_{\max} = (0,1 \text{ à } 0,2) \cdot v_s \quad \text{voor } \frac{z_{\max}}{\Delta D} < 1 \quad (2)$$

waarin:

u_{\max}	= stroomsnelheid in de haalgolf	[m/s]
v_s	= sloopssnelheid	[m/s]
Δ	= relatieve dichtheid, $\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$	[-]
ρ_s	= dichtheid materiaal	[kg/m ³]
ρ	= dichtheid water	[kg/m ³]
D	= karakteristieke diameter gestorte steen of blokdikte bij gezette steen	[m]
z_{\max}	= haalgolfhoogte	[m]

Uitgaande van figuur 26 voor waarden van z_{\max} is het dan mogelijk de relatie tussen u_{\max} en z_{\max} te bepalen. Opgemerkt wordt dat uit experimentele metingen [6] is gebleken, dat als voor gezette steen voor Δ een waarde van 1,65 en voor D de blokdikte (in dit geval dus 0,15 m) wordt ingevuld, goede resultaten worden verkregen. In figuur 27 staat het resultaat, wat kan worden weergegeven door:

$$u_{\max} = 0,40 + 3,07 \cdot \log(z_{\max}/0,25) \quad (3a)$$

of

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \exp[(u_{\max} - 0,40)/1,335] \quad (3b)$$

Beide vergelijkingen zijn slechts geldig voor waarden van z_{\max} tussen 0,25 en 1,0 m. Algemene geldigheid voor willekeurige situaties mag er niet aan worden ontleend, evenmin als aan de figuren 25 en 26. Het bovenstaande is uitsluitend bepaald teneinde de modelresultaten te kunnen vertalen naar een werkelijke scheepsbelasting voor relevante situaties.

Als nu de met SHM 10 gemeten stroomsnelheden worden beschouwd, dan kan het volgende worden vastgesteld (zie ook tabel 6):

- Voor een golfhoogte van $H=0,17$ m bedraagt de maximale stroomsnelheid 2,25 m/s.

- Voor $H=0,13$ m bedraagt de gemiddelde maximale stroomsnelheid van de vectoriaal samengestelde stroomcomponenten in $+u$ en $+v$ of in $-u$ en $-v$ richting $0,90$ m/s.
- Voor $H=0,06$ m bedraagt de maximale stroomsnelheid $0,40$ m/s.

Vergelijken met de waarden van u_{\max} in figuur 27, leidt tot de conclusie dat de gemeten stroomsnelheden uitstekend passen in de range van haalgolfsnelheden u_{\max} zoals bepaald voor relevante praktijksituaties. Met figuur 27 is de volgende vertaaltabel te maken:

H [m]	u_{\max} [m/s]	z_{\max} [m]	opmerkingen
0,06	0,40	0,25	
0,13	0,90	0,35	
0,16	1,65	0,55	alleen T 104 t/m 107
0,17	2,25	1,00	

De relaties in bovenstaande tabel zijn ook in figuur 28 gepresenteerd.

Wordt vervolgens de retourstroom \hat{u}_r beschouwd (figuur 25), dan valt op dat \hat{u}_r groter is dan $0,50$ m/s voor vaarsnelheden groter dan circa $2,0$ m/s ($7,2$ km/uur). In de praktijk zal meestal minimaal deze vaarsnelheid worden aangehouden. Dit betekent dat de stroomsnelheden gemeten met de SHM's 6 t/m 9 niet representatief zijn voor retourstroomsnelheden en dat de retourstroom dus niet korrekt is gesimuleerd, zoals eerder in deze paragraaf reeds was geconcludeerd.

Tenslotte de verkeersintensiteit. Eerder deze paragraaf is gesproken van een vaarweg volgens normaal profiel. Dit profiel wordt aanbevolen voor verkeersintensiteiten groter dan 15.000 schepen per jaar voor een verkeersafwikkelingsniveau waarbij onder andere twee geladen maatgevende schepen elkaar kunnen ontmoeten zonder vaartvermindering. In [7] wordt een meer gedetailleerde beschrijving gegeven. Dit normale profiel wordt, vanuit nautisch oogpunt bezien, als optimaal beschouwd, waarbij veilig en vlot een hoge verkeersintensiteit kan worden verwerkt. Als de verkeersintensiteit geringer is, kunnen de afmetingen van het vaarwegdwarsprofiel worden gereduceerd. Als ondergrens kan daarbij het zogenaamde krappe profiel worden aangehouden. Hierbij behoort een verkeersintensiteit van minder dan 5.000 schepen per jaar.

In relatie tot het maximale aantal golven (minder dan 2.000) waarvoor de erosie is bepaald bij het onderhavige onderzoek, is de verkeersintensiteit op veel vaarwegen dus een orde groter, want het aantal haalgolven op een vaarweg kan gelijk worden gesteld aan het aantal scheepspassages. Hierbij dient wel te worden aangetekend, dat niet alle schepen met maximale snelheid langs de oever in de dezelfde richting varen. Niettemin zal bij toepassing van kansverdelingen voor y_s/b_w en v_s het aantal relevante scheepspassages per jaar relatief groot blijven ten opzichte van het aantal golven waarbij de gatvulling volledig uitspoelt.

3.3 Erosie

De gemeten erosie is gepresenteerd in de tabellen 8 t/m 25. Per proevenserie is de gemiddelde (soms ook de extreme) erosie vermeld als functie van gatnummer, aantal golven en positie gat in langsrichting van de goot (zuid of noord, zie ook figuur 3 en fotoblad 2). De gepresenteerde waarden betreffen de cumulatieve erosie ten opzichte van de ongeërodeerde uitgangssituatie.

Geconstateerd kan worden dat erosie van de gatvulling bij zowel zand als grond voornamelijk plaats vindt in de gaten rondom de ongestoorde waterspiegel (gatnummers 8,9 en 10). Nagenoeg geen erosie en in sommige gevallen zelfs aanzanding is te constateren voor de dieper gelegen gaten.

Een en ander betekent dat de snelheden in de haalgolf wel tot erosie hebben geleid, maar dat dit niet het geval is voor de snelheden in de retourstroom. Overigens kan de aanzanding worden verklaard uit geërodeerde gatvulling uit hoger op het talud gelegen geërodeerde gaten.

In eerste instantie is bekeken in hoeverre de gemeten erosie in de zuidelijke gaten afweek van die gemeten in de noordelijke gaten. Een systematische afwijking kon niet worden vastgesteld. De verschillen bedroegen maximaal 10%. Volgens is de gemiddelde erosie in het hart van een gat vergeleken met de maximale erosie in dat zelfde gat (figuur 9). De extreme erosie blijkt gemiddeld 10% groter te zijn dan de gemiddelde erosie. De waarden variëren tussen 1,0 en 1,3 keer de gemiddelde erosie.

Mede op grond hiervan is voor de verdere analyse uitgegaan van de gemiddelde erosie in de noordelijke gaten.

Ter toelichting kan worden opgemerkt dat de bodemligging in een geërodeerd gat in de beginfase van het erosieproces niet horizontaal is, maar dat de erosiediepte toeneemt in de stroomrichting. Na verloop van tijd ontstaat evenwel een horizontale bodemligging.

De invloed van de golfhoogte H op het verloop van het erosieproces is voor enkele karakteristieke toestanden weergegeven in de figuren 10 t/m 18.

Duidelijk is vast te stellen dat een toenemende golfhoogte resulteert in een grotere erosie. Te constateren is ook, dat in sommige gevallen de erosie Y gelijk wordt aan de blokdikte D, dat wil zeggen dat alle gatvulling is uitgepoeld. In bedoelde situaties was het onderliggende filterdoek zichtbaar. Tenslotte kan indirect worden vastgesteld dat bij een toenemend aantal golven het verloop van de erosie mag worden benaderd met een logaritmisch verband.

Voorbeelden van de invloed van de gatgrootte G zijn gepresenteerd in de figuren 19 t/m 21. In het algemeen blijkt de erosie voor een gelijk aantal golven en een gelijke golfhoogte toe te nemen bij toenemende gatgrootte G.

Een uitzondering hierop vormen de proevenseries T 600 en T 610 met grond.

De gemeten erosie is hier kleiner dan die bij de serie T 400 en T 410 waarvoor $G = 80$ mm. De indruk bestaat dat de erosieresultaten van de 600-serie te laag zijn. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de wijze van vullen van de gaten met grond. In vergelijking tot de 400- en 500-serie zou de 600-serie in sterkere mate aangestampt kunnen zijn.

Geconstateerd kan ook worden dat in een aantal gevallen de erosie Y groter is dan de gatgrootte G.

Het verschil tussen grond of zand als gatvulling is voor enkele gevallen gepresenteerd in de figuren 22 t/m 24. Geconcludeerd kan worden dat zand in veel snellere mate erodeert dan grond. Hoewel er sprake is van kleiarne grond met geringe cohesieve eigenschappen en een kleinere korreldiameter dan zand, is de weerstand tegen erosie toch groter dan die van het toegepaste zand. Het waterabsorptievermogen van de grond tengevolge van elektrolytische en fysische krachten die afhankelijk zijn van onder andere type kleimineraal, zuurgraad water en aanwezigheid van elektrolyten, doet kennelijk toch waterdeeltjes rond de kleikorrels ontstaan, waardoor de grond als geheel een grotere onderlinge samenhang vertoont dan op grond van het gestelde in paragraaf 2.3 mocht worden verwacht.

3.4 Conclusies

Op basis van uitsluitend de meetresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Uit een vergelijking van gemeten stroomsnelheden en berekende stroomsnelheden in de haalgolf blijkt dat meetopstelling en proevenprogramma representatief zijn voor in werkelijkheid optredende scheepsgeïnduceerde haalgolfbelastingen.
- Een analoge vergelijking met betrekking tot de retourstroom heeft niet geresulteerd in een juiste simulatie. De stroomsnelheden in het model waren te laag.
- De maximale erosie treedt op rond de ongestoorde waterspiegel, terwijl nauwelijks erosie optreedt in de dieper gelegen regionen.
- De erosie neemt toe naarmate de waterbeweging heviger wordt of de gatgrootte toeneemt. In veel gevallen is de uiteindelijke erosiediepte groter dan de gatgrootte. De erosiesnelheid neemt af bij een toenemend aantal golven.
- Grond blijkt voor alle gatgroottes onder alle belastingcondities erosiebestendiger dan zand.

4. Analyse meetresultaten

4.1 Algemeen

De erosie Y wordt bepaald door grootte en duur van de belasting, gatafmetingen, positie van het gat op het talud en karakteristieken van de gatvulling. In formulevorm:

$$Y = f(z_{\max}, N, G, \text{gatpositie}, D_{50}, \text{type grond}) \quad (4)$$

waarin:

Y	= erosiediepte	[m]
z_{\max}	= haalgolhoogte	[u]
N	= aantal golven of langsvarende schepen	[-]
G	= gatgrootte	[m]
D_{50}	= karakteristieke korreldiameter onderschreden door 50%	[m]

In plaats van z_{\max} kan ook u_{\max} (= stroomsnelheid in de haalgolf) in vgl.(4) worden gelezen. Aansluitend daarop is het evenzeer van belang de evenwichts-erosiediepte Y_e te kennen, teneinde te kunnen bepalen of een open taludbekleding kan worden toegepast.

Deze evenwichtserosiediepte dient kleiner te zijn dan de blokdikte D . In dit hoofdstuk zullen zowel de evenwichtserosiediepte Y_e als het verloop van het erosieproces worden behandeld. De resultaten zullen worden getoetst aan formules uit de literatuur. Ook zal worden ingegaan op de relatie tussen de stroomsnelheid juist boven en in een gat, de ruwheid van een open taludbekleding en de gevolgen daarvan voor de erosie.

4.2 Evenwichtserosiediepte

Eerder is geconcludeerd dat de erosiesnelheid afneemt bij een toenemend aantal golven en als het ware een evenwichtserosiediepte bereikt (zie de figuren 10 t/m 24). Deze erosiediepte Y_e is een functie zoals vgl.(4). Voor de gaten met de grootste erosie (vrijwel zonder uitzondering gat 9 of gat 10) is uit de meetresultaten de waarde van Y_e en het bijbehorende aantal golven N_e geschat. In tabel 27 zijn de waarden voor de diverse proevenseries gepresenteerd. Dezelfde resultaten zijn in de figuren 29 en 30 nogmaals weergegeven.

Uit de resultaten blijkt, dat de evenwichtserosiediepte toeneemt met toenemende gatgrootte. Ook wordt de evenwichtserosiediepte sneller bereikt, dat wil zeggen voor een geringer aantal golven, bij toenemende gatgrootte.

Tenslotte kan worden geconcludeerd, dat voor gelijke omstandigheden de evenwichtserosiediepte voor gaten gevuld met grond geringer is dan voor die gevuld met zand.

Samenvattend kan worden gesteld dat voor een stroomsnelheid in de haalgolf van 2,25 m/s (of haalgolfhoogte 1,0 m) in alle gevallen onafhankelijk van de gatgrootte G een uiteindelijke erosiediepte Y_e wordt bereikt gelijk aan de blokdikte D van 150 mm. Hetzelfde geldt voor een gatgrootte G gelijk aan 150 mm onafhankelijk van de snelheid in of de hoogte van de haalgolf. Voorts wijzen de resultaten uit dat voor stroomsnelheden kleiner of gelijk aan 0,90 m/s en een gatgrootte $G = 120$ mm toepassing van grond wel, maar van zand niet mogelijk lijkt. In geval van een gatgrootte $G = 80$ mm lijken zowel zand als grond toepasbaar als gatvulling.

De evenwichtserosiediepte Y_e wordt in die situaties waarbij Y_e kleiner is dan 150 mm, bereikt na ongeveer 1500 golven ofwel scheepspassages.

Gerelateerd aan de gebruikelijke verkeersintensiteit is daarom te verwachten, dat reeds na enige maanden deze erosiediepte is bereikt. In hoeverre er sprake zal zijn van een voortschrijding van de erosie onder de blokken, kan niet worden bepaald op grond van de meetresultaten. Bovendien moet worden bedacht, dat inmiddels de vegetatie wellicht bijdraagt aan een vergroting van de erosiebestendigheid. Ook zal in vaarwegen met een geringere verkeersintensiteit de tijd waarin de totale gatvulling volledig uitspoelt, aanzienlijk langer zijn.

4.3 Erosieproces

In paragraaf 3.3 is verondersteld, dat het erosieproces door een logaritmisch verband tussen belastinggrootte en aantal golven kan worden benaderd. In de figuren 31 t/m 36 is op semilogaritmisch papier de erosie Y uitgezet als functie van het aantal golven N . Bovendien is in deze figuur de geschatte waarde van Y_e aangegeven (zie ook tabel 27).

Uit de resultaten blijkt, dat het erosieproces voor zand inderdaad min of meer een logaritmisch verband vertoont, mits het aantal golven niet te klein is. Voor de gatvulling grond is dit in veel mindere mate het geval. In het laatste geval kan er sprake van zijn dat de grond, aangebracht dieper in het gat, minder goed is aangestampt en bij blootstelling aan de belasting daardoor relatief sneller erodeert dan de gatvulling in de bovenkant van het gat.

Uitgaande van vgl.(4) is een analyse uitgevoerd voor de gaten met de grootste erosie. Dit betekent dat de positie van het gat ten opzichte van de ongestoorde waterspiegel verder geen rol speelt. Daarnaast kunnen de parameters D_{50} en type grond worden samengevoegd tot een nieuwe parameter c . Immers, zand en grond verschillen zowel wat betreft D_{50} als wat betreft cohesieve eigenschappen en zijn daarom dus niet afzonderlijk te onderscheiden. Vgl.(4) gaat dan over in:

$$Y = f(z_{\max}, N, G, c) \quad (5)$$

waarin c een factor is die het type grond in rekening brengt. In plaats van z_{\max} kan in vgl. (5) ook u_{\max} worden ingevuld.

Ten behoeve van de verdere analyse is vgl.(5) voorhands geschreven als :

$$Y = c_1 \cdot \log (N + 1) \quad (6)$$

$$\text{met } c_1 = f(z_{\max}, G, c) \quad (7)$$

Vgl.(6) voldoet aan de voorwaarde dat $Y=0$ als $N=0$. Varianten op vgl.(6) zijn evengoed mogelijk, maar gezien de variatie in de meetresultaten is gekozen voor deze relatief eenvoudige vorm.

De waarde van c_1 wordt bepaald, doordat vgl.(6) moet voldoen aan de evenwichtserosie Y_e bij N_e golven, met andere woorden:

$$c_1 = Y_e / \log (N_e + 1) \quad (8)$$

waarin N_e het aantal golven is behorend bij de evenwichtserosiediepte Y_e .

In tabel 27 zijn de op basis van de metingen met vgl.(8) berekende waarden van c_1 vermeld, terwijl in figuur 37 c_1 als functie van u_{\max} , type grond (parameter c) en gatgrootte G is gepresenteerd. Terzijde wordt opgemerkt, dat uit de resultaten opnieuw blijkt dat de proevenseries T 600 en T 610 afwijken.

De waarden van c_1 in tabel 27 en figuur 37 geven aan dat c_1 toeneemt als u_{\max} en G toenemen en c afneemt. Voor c_1 wordt daarom de volgende formule gekozen:

$$c_1 = c_2 \cdot (z_{\max})^{c_3} \cdot G^{c_4} / c^{c_5} \quad (9)$$

Opgemerkt wordt dat bij de analyse verder gebruik is gemaakt van z_{\max} , omdat hiermee het meest direct ontwerpgericht kan worden gewerkt. De analyse in geval u_{\max} zou worden gebruikt, verloopt overigens geheel identiek en levert een vrijwel gelijk resultaat op. Met vgl.(3) kan z_{\max} eenvoudig in u_{\max} worden omgezet. Voor toekomstig gebruik is overigens u_{\max} aan te bevelen, omdat ook de erosie door secundaire scheepsgolven en retourstroom veroorzaakt wordt de stroomsnelheden.

Nadere analyse van de c_1 -waarden resulteerde uiteindelijk in de volgende waarden voor de coefficient c_2 , de exponenten c_3 t/m c_5 en de parameter c :

$$\begin{aligned} c_2 &= 0,5 \\ c_3 &= 0,5 \\ c_4 &= 1,0 \\ c_5 &= 1,0 \\ c &= 0,7 \text{ (zand) en } 1,0 \text{ (grond)} \end{aligned}$$

Vgl.(9) gaat daarmee over in:

$$c_1 = \frac{G}{2c} \cdot (z_{\max})^{0,5} \quad (10)$$

In figuur 38 zijn berekeningsresultaten voor de verschillende proevenseries getoetst aan de gemeten c_1 -waarden vermeld in tabel 27. Er is sprake van een goede overeenstemming.

Vgl.(10) gesubstitueerd in vgl.(6) levert tenslotte de formule op, waarmee het erosieproces kan worden beschreven:

$$\frac{Y}{G} = \frac{(z_{\max})^{0,5}}{2c} \log (N+1) \quad (11)$$

met $c = 0,7$ (zand) en $1,0$ (grond). Aangetekend wordt dat de waarde van z_{\max} in meters dient te worden ingevuld en dat dus de factor c niet dimensieloos is.

Met vgl.(11) is per proevenserie voor de gaten met de grootste gemeten erosie ook de erosie berekend. Gemeten en berekende erosie zijn in figuur 39 vergeleken. Geconstateerd kan worden dat de spreiding groot is en dat met name voor kleine waarden van de erosie ($Y < 75$ mm) de berekende erosie gemiddeld twee keer groter is dan de gemeten erosie. Dit laatste kan verklaard worden uit het niet-logaritmische verband voor de erosie Y in het geval van een gering aantal golven. Voor zand lijkt met vgl.(11) de erosie redelijk te voorspellen (afwijking circa 25%). In het geval van grond is dit zeker niet het geval. Er is

sprake van een grote overschatting van de erosie, hetgeen wordt veroorzaakt door het eerder genoemde niet-logaritmische verband tussen aantal golven en erosie (zie ook de figuren 34 t/m 36).

Samenvattend: vgl.(11) kan wel worden toegepast, maar het resultaat zal aan de pessimistische kant zijn.

Een opmerking tenslotte over de parameter c , welke geschreven kan worden als:

$$c = f(D_{50}, T_g) \quad (12)$$

waarbij het symbool T_g het type grond symboliseert.

Op grond van de voorgaande resultaten is te verwachten dat c toeneemt als D_{50} en T_g toenemen, waarbij T_g de invloed van de cohesie bevat. In formulevorm:

$$c \propto D_{50}^{c_6} \cdot (1 - T_g)^{c_7} \quad (13)$$

Met een dergelijke formule wordt voldaan aan de voorwaarde dat als de cohesie nul is, zoals bij zand, c uitsluitend een functie is van D_{50} .

Bekend is verder, dat de c voor grond groter is dan de c voor zand en dat de D_{50} van grond kleiner is dan die van zand. Kennelijk overheerst dus de invloed van T_g . Uitvoering van aanvullende proeven zou ter zake duidelijkheid kunnen verschaffen. Bovendien zou dit gelegenheid bieden de spreiding in vgl.(11) te reduceren.

4.4 Toetsing onderzoeksresultaten aan literatuurformules

Parsons en Apmann [8] en Brown [9] hebben onderzoek verricht naar erosie uit open taludbekledingen (zie ook [2]). Parsons en Apmann geven voor het geval van een horizontale bodem met gaten gevuld met zand de volgende relatie:

$$Y_e / G = 0,8 \text{ à } 1,0 \quad (14)$$

Onderhavig onderzoek heeft geresulteerd in waarden voor Y_e/G groter dan 1 voor zand en van 0,7 à 1,9 voor grond. Vgl.(14) wordt dus niet bevestigd.

Brown onderzocht een taludhelling en publiceerde de relatie:

$$Y / G = 0,00115 \cdot (\bar{u}^{2,2} / D_{50}^{0,95}) \quad (15)$$

met \bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid [m/s]

Vgl.(15) kan uitsluitend worden vergeleken met de resultaten van onderhavig onderzoek voor zover het betreft gaten gevuld met zand. Voor de grond zou vgl.(15) namelijk een grotere erosie voorspellen dan voor zand vanwege de kleinere D_{50} van de gebruikte grond ten opzichte van die van zand. Dit is in tegenspraak met de proefresultaten. Vgl. (15) bevat echter ook geen parameter om bijvoorbeeld de cohesie in rekening te brengen.

In het geval van zand is voor enkele gevallen de erosie Y met vgl.(15) berekend. Geconcludeerd moet worden, dat deze berekende erosie een factor 1 à 20 keer zo groot is als de gemeten erosie. Een gelijk resultaat is verkregen bij het onderzoek naar dijken [3].

Concluderend moet worden vastgesteld, dat in de literatuur genoemde voorspellingsformules niet overeenstemmen met de meetresultaten.

4.5 Stroomsnelheden boven en in een open taludbekleding

In [4] is een relatie afgeleid om de hydraulische ruwheid van open taludbekledingen te berekenen met:

$$k_s = 0,08 \cdot Y \cdot \left(\frac{W + G}{Y} \right)^{2,685} \quad \text{voor } \frac{W + G}{Y} < 5 \quad (16)$$

waarin:

k_s	=	hydraulische ruwheid volgens Nikuradse	[m]
W	=	blokbreedte in stroomrichting	[m]
G	=	gatgrootte	[m]
Y	=	erosiediepte	[m]

Teneinde de invloed van gaten op de stroomsnelheden in de verticaal te onderzoeken is een stromingsproef uitgevoerd. Met SHM 11 en 12 zijn de stroomsnelheden juist voor en na respectievelijk de gaten 2 en 3 gemeten (zie figuur 8). De gatgrootte G bedroeg 120 mm, zodat W gelijk is aan 180 mm (zie figuur 5). De gemiddelde erosiediepte in gat 2 bedroeg 100 mm en in gat 3 85 mm. Met vgl.(16) resulteert dit in:

$$k_s = 153 \text{ mm} \quad \text{voor gat 2}$$

$$k_s = 201 \text{ mm} \quad \text{voor gat 3}$$

Met de formule voor het logaritmisch snelheidsverloop volgens:

$$u(z)/u_* = 5,75 \log (30.z/k_s) \quad (17)$$

waarin:

$u(z)$ = stroomsnelheid op hoogte z [m/s]

u_* = schuifspanningssnelheid [m/s]

z = afstand boven de bodem [m]

kan vervolgens de waarde van $u(z)$ worden berekend. De waarde van u_* is te bepalen uit:

$$\bar{u}/u_* = 5,75 \log (12.R/k_s) \quad (18)$$

waarin:

R = hydraulische straal [m]

met $\bar{u} = 1,15$ m/s en $R = 0,43$ m.

Vgl.(17) is uitsluitend toepasbaar voor de SHM's 11b en 12b (dus juist na het gat). In geval van de SHM's 11a en 12a dient in vgl.(17) een k_s -waarde van 2 mm te worden ingevuld (dat wil zeggen de ruwheid van beton).

In de figuren 40 en 41 zijn de gemeten en berekende snelheidsvertikalen vergeleken. Geconcludeerd kan worden dat juist na het gat de gemeten waarden van $u(z)$ veel groter zijn dan de berekende waarden. Met andere woorden : het snelheidsprofiel is nog niet aangepast aan de grotere ruwheid. Voor het gat ($k_s = 2$ mm) is wel een goede overeenstemming vast te stellen. Van een echte toetsing van de gatinvloed op het snelheidsprofiel is dus geen sprake.

De stroomsnelheid juist boven het gat ($z \approx 0,10$ m) bedraagt dus ongeveer 1,15 m/s (gemeten snelheid). Aangezien $Y/G \approx 0,75$ mag worden verwacht dat in het gat een neer draait met een stroomsnelheid volgens [2]:

$$u_w \approx (0,25 \text{ à } 0,60) \cdot \bar{u} \quad (19)$$

waarin:

u_w = snelheid in neer in een gat [m/s]

Met $\bar{u}=1,15$ m/s volgt dan $u_w=0,30$ à $0,70$ m/s. Stel dat gemiddeld $Y=90$ mm voor gat 2 en gat 3, dat $D_{50}=165 \mu_m$, $h=0,015$ m (zie ook figuur 26 in [2]) en dat $k_s = 1,5.D_{50}$, dan volgt met:

$$C = 18 \log (12.h/k_s) \quad (20)$$

$$\text{en } \tau = \rho.g.u_w^2 / C^2 \quad (21)$$

waarin:

C	=	coëfficiënt van Chézy	$[m^{1/2}/s]$
h	=	waterdiepte	[m]
k_s	=	hydraulische ruwheid volgens Nikuradse	[m]
τ	=	bodemschuifspanning	$[N/m^2]$
ρ	=	dichtheid water	$[kg/m^3]$
g	=	versnelling zwaartekracht	$[m/s^2]$

een Chézy-waarde van $51,5 m^{0,5}/s$ en een waarde van τ variërend van $0,33$ tot $1,81 N/m^2$ (afhankelijk van u_w). Met:

$$\psi = \tau / (\rho.g.\Delta.D_{50}) \quad (22)$$

waarin:

ψ	=	schuifspanningsparameters	[-]
Δ	=	relatieve dichtheid, $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$	[-]
ρ_s	=	dichtheid materiaal	$[kg/m^3]$

volgt dan een waarde van ψ variërend van $0,125$ tot $0,68$. Dit is groter dan de kritieke waarde van $0,04$, zodat voortgaande erosie is te verwachten.

In het geval Y/G ongeveer 2 zou worden, bijvoorbeeld voor $G=75$ mm bij een waarde van Y gelijk aan een blokdikte D van 150 mm, dan zijn twee neren te verwachten in het gat. De snelheid van de onder in het gat gelegen neer bedraagt circa $0,25$ van de snelheid in de bovenste neer, met andere woorden $u_w = 0,10$ à $0,17$ m/s. De waarde van ψ varieert dan tussen $0,013$ en $0,040$ en is dus kleiner dan de kritieke waarde. Erosie is dan niet meer te verwachten.

Dit resultaat betekent dat bij gatgroottes G kleiner dan $0,5$ keer de blokdikte D een veilige situatie is te verwachten voor snelheden boven het gat tot maximaal circa $1,0$ m/s.

4.6 Conclusies

De analyse van de meetresultaten is aanleiding de volgende conclusies te vermelden:

- Toepassing van open taludbekledingen lijkt mogelijk, maar is in sterke mate afhankelijk van verkeersintensiteit en gatgrootte.
- Een gatgrootte van 150 mm of een grote haalgolfbelasting ($z_{\max}=1,0$ m of $u_{\max}=2,25$ m/s) resulteren voor zowel zand als grond vrijwel altijd in een kritische erosiediepte gelijk aan de blokdikte.
- Voor zand wordt deze kritische erosiediepte eveneens bereikt bij een gatgrootte van 120 mm. In het geval grond als gatvulling wordt toegepast en de maximale belasting als matig ($u_{\max}=0,90$ m/s) kan worden gekarakteriseerd, dan blijft de erosie geringer dan de blokdikte.
- Gatgroottes van 80 mm onder matige belastingcondities (u_{\max} kleiner of gelijk aan 0,90 m/s) kunnen met zowel zand als grond als gatvulling veilig worden toegepast. De maximale erosiediepte blijft kleiner dan de blokdikte.
- Een formule kon worden afgeleid waarmee de erosie kan worden voorspeld als functie van waterbeweging, aantal golven, gatgrootte en type grond. Voorspellingen met bedoelde formule zullen de erosie overschatten.
- De meetresultaten stemmen niet overeen met in de literatuur vermelde voorspellingsformules voor de erosie.
- De invloed van een open taludbekleding op de stroomsnelheden in de verticaal kon niet worden getoetst.

5. Ontwerpgerichte aanbevelingen

Voor een nieuw aan te leggen oeververdediging van een vaarweg, waarbij de oever een milieuvriendelijk karakter dient te krijgen, kan worden overwogen een open taludbekleding toe te passen. Dit type verdedigingsconstructie bestaat uit in verband geplaatste betonblokken met gaten. De vegetatie die moet zorgen voor de milieuvriendelijkheid van de oever, groeit daarbij door de gaten. Als deze vegetatie voldoende volgroeid is en een sterk wortelstelsel bezit, wordt enerzijds de belasting op de vulling in de gaten gereduceerd en anderzijds de erosiebestendigheid van de gatvulling verhoogd. Voorafgaand hieraan verkeert de vegetatie echter in het pioniersstadium en is het niet denkbeeldig dat de totale gatvulling erodeert bij een onjuiste dimensionering. Het resultaat zal dan zijn dat de vegetatie in het geheel geen kans krijgt. Teneinde dit te voorkomen worden in het navolgende enkele ontwerpgerichte aanbevelingen gegeven.

De zwaarst aangevallen zone van een vaarwegoever strekt zich uit vanaf de ongestoorde waterspiegel tot een diepte gelijk aan ongeveer 1 meter beneden deze waterspiegel (gezien in verticale zin). De haalgolf, geïnduceerd door langsvarende schepen, is hier de maatgevende belasting met als kenmerken de haalgolfhoogte z_{\max} of de stroomsnelheid u_{\max} . Wil een vegetatie het pioniersstadium ontgroeien, dan is vereist dat gedurende het pioniersstadium niet de totale gatvulling erodeert onder invloed van genoemde belasting. Als ontwerpcriterium kan dan ook worden geformuleerd:

$$Y_e / D \leq 1 \quad (23)$$

waarin:

$$\begin{aligned} Y_e &= \text{evenwichtserosiediepte [m]} \\ D &= \text{blokdikte [m]} \end{aligned}$$

In het algemeen zal onder de volgende voorwaarden hieraan voldaan worden:

- 1e De gatgrootte G is maximaal $0,5 \cdot D$, en
- 2e De belasting op de oever is matig, dat wil zeggen:

$$z_{\max} < 0,30 \text{ m of } u_{\max} < 1,0 \text{ m/s, en}$$

$$(z_{\max} = \text{haalgolfhoogte [m], } u_{\max} = \text{stroomsnelheid in de haalgolf [m/s])}$$

3e De gatvulling bestaat uit grond met cohesieve eigenschappen, en is geschikt voor vegetatie.

Wordt overwogen een gatgrootte-blokdikte verhouding toe te passen van $G/D=0.75$ met een gatvulling van grond of een constructie waarvoor geldt $G/D=0,5$ met een gatvulling van zand, dan is dit mogelijk mits de belastingen wederom matig zijn en de verkeersintensiteit gering is (minder dan 5000 schepen per jaar). Verhoudingen groter dan 0,75 in geval van grond en 0,5 in geval van zand worden niet aanbevolen.

Voor extreme belastingcondities zoals die optreden in duwvaartkanalen ($z_{\max} \approx 1,0$ m of $u_{\max} \approx 2,25$ m/s), worden open taludbekledingen niet aanbevolen.

De haalgolfhoogte z_{\max} of de stroomsnelheid u_{\max} kan voor iedere configuratie van vaarweg en scheepstype worden berekend met behulp van de resultaten van het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen" (M1115) [6]. Het rekenpakket DIPRO staat daartoe ter beschikking. Voor de vaarwegklassen II, IV, V en VI met een normaal profiel conform de daarvoor opgestelde richtlijnen [7], kunnen de haalgolfkarakteristieken voor de maatgevende schepen ook worden geschat met behulp van de figuren 26 en 27.

Uit tabel 26 is per vaarwegklasse de maximale vaarsnelheid voor het betreffende maatgevende schip af te lezen.

Als men het verloop van de erosie in de tijd wil weten, dan staat de volgende formule ter beschikking:

$$\frac{Y}{G} = \frac{(z_{\max})^{0,5}}{2c} \log (N+1) \quad (11)$$

waarin:

Y	=	erosiediepte	[m]
G	=	gatgrootte	[m]
z_{\max}	=	haalgolfhoogte	[m]
c	=	faktor voor grondinvloed	$[m^{-\frac{1}{2}}]$
N	=	aantal golven of langsvarende schepen	[-]

Met een waarde van $c=0,7$ in geval van een gatvulling bestaande uit zand en $c=1,0$ in geval van grond resulteert dit in:

$$\frac{Y}{G} = 0,7 (z_{\max})^{0,5} \log (N+1) \text{ voor zand}$$

$$\frac{Y}{G} = 0,5 (z_{\max})^{0,5} \log (N+1) \text{ voor grond}$$

De waarde van N correspondeert met het aantal haalgolven ofwel het aantal scheepspassages. De formule kan ook worden gebruikt om het aantal scheepspassages te berekenen voor dat een kritische situatie optreedt (dus voordat de erosie een waarde gelijk aan de evenwichtserosiediepte Y_e bereikt). Hiertoe wordt vgl.(11) geschreven als:

$$N = - 1 + \exp \left[\frac{4,6 c}{(z_{\max})^{0,5}} \cdot \frac{Y_e}{G} \right]$$

Voor Y_e kan dan bijvoorbeeld een waarde ingevuld worden gelijk aan de blokdikte min 10 mm, maar in ieder geval een waarde kleiner dan de blokdikte. Opgemerkt wordt dat z_{\max} moet worden ingevuld in meters in beide formules.

In het geval de waarde van de stroomsnelheid u_{\max} in de haalgolf bekend is, dan kan door substitutie van:

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \exp \left[\frac{(u_{\max} - 0,40)}{1,335} \right] \quad (3b)$$

de waarde van het aantal golven N of de erosiediepte Y worden bepaald.

De bovenstaande aanbevelingen zijn gebaseerd op onderzoek met een blokdikte van 150 mm en gatgroottes van 80, 120 en 150 mm voor de eerder genoemde vaarwegklassen. De gatvulling bestond uit ofwel zand met $D_{50}=165 \mu\text{m}$ ofwel sterk lemig, grind- en kleiarm, matig fijn zand (grond of teelaarde) met $D_{50}=113 \mu\text{m}$. Voor overeenkomstige situaties kan de uiteindelijke erosiediepte Y_e worden afgelezen uit figuur 30 als functie van u_{\max} , gatgrootte G en type grond.

Als er sprake is van afwijkende omstandigheden dan dienen deze aanbevelingen voor het ontwerp met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast.

LITERATUUR

1. Waterloopkundig Laboratorium
Erosie door open taludbekledingen, samenvattend rapport,
WL, verslag H657, Delft, 1988
2. Waterloopkundig Laboratorium
Erosie door open taludbekledingen, literatuurstudie en aanbevelingen voor
praktijkonderzoek
WL, verslag burestudie H657 bijlage A, Delft, 1988
3. Waterloopkundig Laboratorium
Erosie door open taludbekledingen, praktijkgericht onderzoek dijken,
WL, verslag modelonderzoek H657 bijlage C, Delft, 1988
4. Waterloopkundig Laboratorium
Hydraulische ruwheid van een Armorflex-blokkenmat
WL, speurwerkverslag Q439/H657 bijlage D, Delft, 1988
5. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, Deel 1 - Bovenrivierengebied
Staatsuitgeverij, 'sGravenhage, 1985.
6. Waterloopkundig Laboratorium
Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen; Technische aanbevelingen voor
oeververdedigingen van losgestorte en gezette steen.
WL, verslag M1115 deel XIX, Delft, 1988.
7. Commissie Vaarwegbeheerders
Richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaarwegen van de CEMT-
klassen I t/m IV
Commissie Vaarwegbeheerders, Werkgroep Vaarwegvakken, 1987.
8. Parsons, D.A.; Apmann, R.P.
Cellular concrete block revetment
Journal of the Waterways and Harbour Division, ASCE, Vol. 91,
WW 2, May 1965
9. Brown, C.T.
Flexible revetments, theory and practice
Intern. Conf. on Flexible armoured revetments incorporating geotextiles,
London, 1984.

type	codering	coördinaten			opmerkingen
		x	y	z	
		[m]	[m]	[m]	
golfhoogte- meter	GHM 1	-0,03	1,81	-	
	GHM 2	0,31	1,81	-	
	GHM 3	-0,03	2,90	-	
	GHM 4	0,31	2,90	-	
	GHM 5	-8,10	0,84	-	
tweedimensionale snelheidsmeter	SHM 1	-0,03	1,90	0,49	SHM 1 t/m 4:
	SHM 2	0,31	1,90	0,49	0,025 m boven
	SHM 3	-0,03	3,07	0,88	lokale bodem
	SHM 4	0,31	3,07	0,88	
	SHM 5	-9,10	1,38	0,55	
tweedimensionale snelheidsmeter	SHM 6a	0	1,95	var.	SHM 6a t/m 10a:
	SHM 7a	0	2,24	var.	registraties op
	SHM 8a	0	2,52	var.	0,01 - 0,03 - 0,05 m
	SHM 9a	0	2,81	var.	boven lokale bodem
	SHM 10a	0	3,09	var.	
tweedimensionale snelheidsmeter	SHM 6b	0,30	1,95	var.	SHM 6b t/m 10b:
	SHM 7b	0,30	2,24	var.	registraties op
	SHM 8b	0,30	2,52	var.	0,01 - 0,03 - 0,05 m
	SHM 9b	0,30	2,81	var.	boven lokale bodem
	SHM 10b	0,30	3,09	var.	
tweedimensionale snelheidsmeter	SHM 6c	0,60	1,95	var.	SHM 6c t/m 10 c:
	SHM 7c	0,60	2,24	var.	registraties op
	SHM 8c	0,60	2,52	var.	0,01 - 0,03 - 0,05 m
	SHM 9c	0,60	2,81	var.	boven lokale bodem
	SHM 10c	0,60	3,09	var.	
tweedimensionale snelheidsmeter	SHM 11a	0	1,38	var.	metingen
	SHM 12a	0	1,67	var.	snelheids-
	SHM 11b	0,60	1,38	var.	vertikaal
	SHM 12b	0,60	1,67	var.	

Tabel 1 Positie instrumenten

proefnummer	gatgrootte	golfhoogte	aantal
T...	[m]	t.p.v. GHM 3	golven
		[m]	(cumulatief)
11	0,15	0,06	7
12	0,15	0,06	29
13	0,15	0,06	81
14	0,15	0,06	1081
100	0,15	0,13	7
101	0,15	0,13	29
102	0,15	0,13	81
103	0,15	0,13	183
104	0,15	0,16	7
105	0,15	0,16	29
106	0,15	0,16	81
107	0,15	0,16	183
200	0,12	0,06	7
201	0,12	0,06	29
202	0,12	0,06	81
203	0,12	0,06	183
204	0,12	0,06	385
205	0,12	0,06	787
206	0,12	0,13	7
207	0,12	0,13	29
208	0,12	0,13	81
209	0,12	0,13	183
210	0,12	0,13	385
211	0,12	0,13	787
212	0,12	0,17	7
213	0,12	0,17	29
214	0,12	0,17	81
215	0,12	0,17	183
300	0,08	0,06	7
301	0,08	0,06	29
302	0,08	0,06	81
303	0,08	0,06	183
304	0,08	0,06	385
305	0,08	0,06	787
306	0,08	0,06	1589
307	0,08	0,06	1989
308	0,08	0,13	7
309	0,08	0,13	29
310	0,08	0,13	81
311	0,08	0,13	183
312	0,08	0,13	385
313	0,08	0,13	787
314	0,08	0,13	1589
315	0,08	0,17	7
316	0,08	0,17	29
317	0,08	0,17	81
318	0,08	0,17	183
319	0,08	0,17	385

Tabel 2 Proevenprogramma zand

proefnummer	gatgrootte	golfhoogte	aantal
T...	[m]	t.p.v. GHM 3 [m]	golven (cumulatief)
400	0,08	0,06	7
401	0,08	0,06	29
402	0,08	0,06	81
403	0,08	0,06	183
404	0,08	0,06	385
405	0,08	0,06	787
406	0,08	0,13	7
407	0,08	0,13	29
408	0,08	0,13	81
409	0,08	0,13	183
410	0,08	0,13	385
411	0,08	0,13	787
412	0,08	0,13	1589
413	0,08	0,17	7
414	0,08	0,17	29
415	0,08	0,17	81
416	0,08	0,17	183
417	0,08	0,17	431
418	0,08	0,17	931
500	0,15	0,06	7
501	0,15	0,06	29
502	0,15	0,06	81
503	0,15	0,06	183
504	0,15	0,06	385
505	0,15	0,06	787
506	0,15	0,06	1589
510	0,15	0,13	7
511	0,15	0,13	29
512	0,15	0,13	81
513	0,15	0,13	183
514	0,15	0,13	385
515	0,15	0,13	787
516	0,15	0,13	1589
520	0,15	0,17	7
521	0,15	0,17	29
522	0,15	0,17	81
523	0,15	0,17	183
524	0,15	0,17	385
525	0,15	0,17	787
526	0,15	0,17	1589
600	0,12	0,06	7
601	0,12	0,06	29
602	0,12	0,06	81
603	0,12	0,06	183
604	0,12	0,06	385
605	0,12	0,06	787
606	0,12	0,06	1589
610	0,12	0,13	7
611	0,12	0,13	29
612	0,12	0,13	81
613	0,12	0,13	183
614	0,12	0,13	385
615	0,12	0,13	787
616	0,12	0,13	1589
620	0,12	0,17	7
621	0,12	0,17	29
622	0,12	0,17	81
623	0,12	0,17	183
624	0,12	0,17	385
625	0,12	0,17	787
626	0,12	0,17	1589

Tabel 3 Proevenprogramma grond

proefserie T...	GHM 1 [m]	GHM 2 [m]	GHM 3 [m]	GHM 4 [m]	GHM 5 [m]	golfoploop [m]
11	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
100	0,06	0,06	0,13	0,12	0,08	0,29
104	0,09	0,07	0,16	0,15	0,15	0,30
200	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
206	0,07	0,08	0,13	0,13	0,09	0,30
212	0,16	0,13	0,17	0,15	0,23	0,34
300	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
308	0,08	0,08	0,13	0,12	0,09	0,32
315	0,16	0,13	0,17	0,16	0,23	0,36
500	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
510	0,06	0,06	0,13	0,12	0,08	0,29
520	0,16	0,13	0,17	0,15	0,23	0,35
600	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
610	0,07	0,08	0,13	0,13	0,09	0,30
620	0,16	0,13	0,17	0,15	0,23	0,34
400	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05	0,20
406	0,08	0,08	0,13	0,12	0,09	0,32
413	0,16	0,13	0,17	0,16	0,23	0,36

Opmerking: Bij aanduiding proefseries is steeds het eerste toestandsnummer per serie vermeld

Tabel 4 Gemeten golfhoogten en golfoploop

proef serie T...	SHM 1		SHM 2		SHM 3		SHM 4		SHM 5	
	+u	-u	+u	-u	+u	-u	+u	-u	+u	-u
	[m/s]		[m/s]		[m/s]		[m/s]		[m/s]	
11	0,04 (0,05)	0,04 (0,05)	0,03 (0,05)	0,05 (0,05)	0,32 (0,39)	0,35 (0,43)	0,30 (0,38)	0,28 (0,35)	-	-
100	0,05 (0,10)	0,08 (0,12)	0,05 (0,10)	0,08 (0,10)	0,35 (0,40)	0,40 (0,55)	0,35 (0,45)	0,25 (0,35)	0,15 (0,15)	0,10 (0,10)
104	0,10 (0,12)	0,15 (0,20)	0,15 (0,20)	0,10 (0,12)	0,35 (0,45)	0,40 (0,60)	0,45 (0,55)	0,15 (0,30)	0,20 (0,20)	0,17 (0,17)
200	0,05 (0,05)	0,05 (0,05)	0 (0)	0,05 (0,05)	0,32 (0,40)	0,40 (0,45)	0,30 (0,40)	0,30 (0,40)	-	-
206	0,05 (0,05)	0,08 (0,08)	0,05 (0,05)	0,03 (0,03)	0,30 (0,38)	0,40 (0,48)	0,30 (0,35)	0,30 (0,35)	-	-
212	0,20 (0,25)	0,30 (0,40)	0,30 (0,45)	0,20 (0,25)	2,00 (2,50)	0,65 (1,40)	1,50 (2,50)	0,20 (0,60)	0,25 (0,25)	0,25 (0,25)
300	0,03 (0,05)	0,03 (0,05)	0,05 (0,05)	0,05 (0,05)	0,32 (0,38)	0,30 (0,38)	0,30 (0,35)	0,25 (0,30)	0,01 (0,01)	0,02 (0,02)
308	0,05 (0,10)	0,08 (0,10)	0,10 (0,12)	0 (0,05)	0,30 (0,40)	0,25 (0,35)	0,35 (0,40)	0,25 (0,30)	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)
315	0,15 (0,25)	0,30 (0,40)	0,30 (0,40)	0,20 (0,25)	1,80 (2,40)	0,50 (1,00)	1,30 (1,80)	0,30 (0,50)	0,25 (0,25)	0,30 (0,30)
500	0,04 (0,05)	0,04 (0,05)	0,03 (0,05)	0,05 (0,05)	0,32 (0,39)	0,35 (0,43)	0,30 (0,38)	0,28 (0,35)	-	-
510	0,05 (0,10)	0,08 (0,12)	0,05 (0,10)	0,08 (0,10)	0,35 (0,40)	0,40 (0,55)	0,35 (0,45)	0,25 (0,35)	0,15 (0,15)	0,10 (0,10)
520	0,18 (0,25)	0,30 (0,40)	0,30 (0,43)	0,20 (0,25)	1,90 (2,45)	0,58 (1,20)	1,40 (2,15)	0,25 (0,55)	0,25 (0,25)	0,28 (0,28)
600	0,05 (0,05)	0,05 (0,05)	0 (0)	0,05 (0,05)	0,32 (0,40)	0,40 (0,45)	0,30 (0,40)	0,30 (0,40)	-	-
610	0,05 (0,05)	0,08 (0,08)	0,05 (0,05)	0,03 (0,03)	0,30 (0,38)	0,40 (0,48)	0,30 (0,35)	0,30 (0,35)	-	-
620	0,20 (0,25)	0,30 (0,40)	0,30 (0,45)	0,20 (0,25)	2,00 (2,50)	0,65 (1,40)	1,50 (2,50)	0,20 (0,60)	0,25 (0,25)	0,25 (0,25)
400	0,03 (0,05)	0,03 (0,05)	0,05 (0,05)	1,05 (0,05)	0,32 (0,38)	0,30 (0,38)	0,30 (0,35)	0,25 (0,30)	0,01 (0,01)	0,02 (0,02)
406	0,05 (0,10)	0,08 (0,10)	0,10 (0,12)	0 (0,05)	0,30 (0,40)	0,25 (0,35)	0,35 (0,40)	0,25 (0,30)	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)
413	0,15 (0,25)	0,30 (0,40)	0,30 (0,40)	0,20 (0,25)	1,80 (2,40)	0,50 (1,00)	1,30 (1,80)	0,30 (0,50)	0,25 (0,25)	0,30 (0,30)

Opmerkingen:

1. Geïllustreerd zijn gemiddelde en tussen haakjes extreme snelheden op 0,025 m boven de lokale bodem
2. Bij de aanduiding proefseries is steeds het eerste toestandsnummer per serie vermeld.

Tabel 5 Gemeten watersnelheden in de lokaties 1 t/m 5

golfhoogte t.p.v. GHM 3 [m]	hoogte boven lokale bodem [m]	SHM 6a				SHM 6b				SHM 6c			
		+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]
0,06	0,01	0 (0)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,02(0,02)	0 (0)	0,02(0,02)	0,05(0,05)	0,02(0,02)	0,02(0,02)	0,04(0,04)	0,05(0,05)	0 (0)
	0,03	0,05(0,05)	0 (0)	0,07(0,07)	0,02(0,02)	0,05(0,05)	0 (0)	0,05(0,05)	0 (0)	0,05(0,05)	0,02(0,02)	0,05(0,05)	0,02(0,02)
	0,05	0,05(0,05)	0 (0)	0,07(0,07)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0 (0)	0,05(0,05)	0 (0)	0,05(0,05)	0 (0)	0,05(0,05)	0,02(0,02)
0,13	0,01	0 (0)	0,02(0,02)	0,18(0,18)	0,08(0,08)	0,30(0,30)	0,05(0,05)	0,15(0,18)	0,08(0,08)	0,60(0,60)	0,05(0,05)	0,15(0,18)	0,05(0,07)
	0,03	0,05(0,05)	0 (0)	0,18(0,20)	0,07(0,07)	0,08(0,08)	0 (0)	0,18(0,20)	0,07(0,07)	0,08(0,10)	0 (0,02)	0,15(0,15)	0,10(0,10)
	0,05	0,07(0,07)	0 (0)	0,07(0,07)	0 (0)	0,07(0,07)	0 (0)	0,20(0,20)	0,07(0,07)	0,10(0,12)	0,02(0,05)	0,15(0,18)	0,10(0,12)
0,17	0,01	0,17(0,20)	0,17(0,20)	0,30(0,32)	0,20(0,20)	0,15(0,17)	0,17(0,20)	0,30(0,32)	0,20(0,23)	0,20(0,25)	0,20(0,22)	0,37(0,40)	0,18(0,18)
	0,03	0,28(0,35)	0,16(0,18)	0,35(0,38)	0,27(0,31)	0,25(0,27)	0,22(0,25)	0,34(0,35)	0,25(0,26)	0,25(0,27)	0,25(0,27)	0,37(0,40)	0,25(0,27)
	0,05	0,28(0,32)	0,14(0,16)	0,38(0,40)	0,22(0,25)	0,28(0,30)	0,16(0,20)	0,38(0,35)	0,22(0,25)	0,23(0,25)	0,25(0,27)	0,38(0,40)	0,25(0,27)

Tabel 6 Gemeten watersnelheden in de lokaties 6 t/m 10, SHM 6a t/m 6c

golfhoogte t.p.v. GHM 3 [m]	hoogte boven lokale bodem [m]	SHM 7a				SHM 7b				SHM 7c			
		+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]
0,06	0,01	0,02(0,02)	0,08(0,08)	0,08(0,08)	0,08(0,08)	0,02(0,02)	0,05(0,02)	0,08(0,05)	0 (0,02)	0,02(0,02)	0,02(0,02)	0,05(0,05)	0,02(0,02)
	0,03	0,08(0,08)	0,05(0,05)	0,08(0,08)	0,07(0,07)	0,05(0,05)	0,02(0,02)	0,07(0,02)	0,03(0,05)	0,05(0,05)	0,02(0,02)	0,02(0,02)	0,05(0,05)
	0,05	0,08(0,08)	0,02(0,02)	0,08(0,08)	0,06(0,06)	0,05(0,02)	0,05(0,02)	0,07(0,07)	0,03(0,03)	0,02(0,02)	0,08(0,08)	0,02(0,02)	0,08(0,08)
0,13	0,01	0,10(0,10)	0,05(0,05)	0,22(0,22)	0,11(0,11)	0,09(0,10)	0,02(0,04)	0,20(0,20)	0,10(0,12)	0,10(0,10)	0,02(0,02)	0,20(0,20)	0,10(0,10)
	0,03	0,14(0,14)	0,05(0,05)	0,22(0,22)	0,12(0,12)	0,10(0,12)	0,02(0,02)	0,22(0,25)	0,10(0,12)	0,12(0,12)	0,05(0,05)	0,20(0,20)	0,12(0,15)
	0,05	0,14(0,14)	0,05(0,05)	0,22(0,22)	0,12(0,12)	0,10(0,12)	0,05(0,08)	0,20(0,22)	0,15(0,18)	0,12(0,12)	0,05(0,05)	0,20(0,20)	0,12(0,15)
0,17	0,01	0,28(0,30)	0,15(0,20)	0,33(0,35)	0,30(0,30)	0,16(0,18)	0,16(0,18)	0,36(0,38)	0,26(0,28)	0,20(0,22)	0,14(0,18)	0,40(0,42)	0,24(0,26)
	0,03	0,33(0,38)	0,05(0,10)	0,35(0,40)	0,30(0,35)	0,28(0,30)	0,13(0,17)	0,38(0,40)	0,26(0,30)	0,32(0,37)	0,15(0,18)	0,40(0,42)	0,30(0,32)
	0,05	0,30(0,35)	0,08(0,10)	0,38(0,45)	0,30(0,35)	0,30(0,32)	0,11(0,15)	0,38(0,43)	0,26(0,30)	0,28(0,32)	0,12(0,17)	0,40(0,43)	0,28(0,30)

Tabel 6 (vervolg) SHM 7a t/m 7c

golfhoogte t.p.v. GHM 3 [m]	hoogte boven lokale bodem [m]	SHM 8a				SHM 8b				SHM 8c			
		+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]
0,06	0,01	0,08(0,08)	0,12(0,12)	0,10(0,10)	0,05(0,05)	0,05(0,08)	0,10(0,12)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,04(0,04)	0,06(0,06)	0,02(0,02)	0,10(0,10)
	0,03	0,11(0,11)	0,10(0,10)	0,11(0,11)	0,05(0,05)	0,10(0,12)	0,08(0,08)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,08(0,10)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,08(0,10)
	0,05	0,11(0,11)	0,10(0,10)	0,10(0,10)	0,05(0,05)	0,08(0,08)	0,10(0,10)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,08(0,08)	0,05(0,05)	0,05(0,05)	0,08(0,08)
0,13	0,01	0,19(0,20)	0,14(0,15)	0,29(0,30)	0,16(0,18)	0,15(0,18)	0,12(0,15)	0,20(0,22)	0,14(0,14)	0,12(0,15)	0,10(0,12)	0,20(0,20)	0,18(0,18)
	0,03	0,24(0,25)	0,11(0,12)	0,28(0,29)	0,20(0,21)	0,22(0,24)	0,12(0,15)	0,25(0,25)	0,15(0,18)	0,18(0,20)	0,11(0,12)	0,22(0,25)	0,20(0,22)
	0,05	0,25(0,25)	0,10(0,10)	0,28(0,28)	0,21(0,21)	0,21(0,23)	0,12(0,14)	0,25(0,25)	0,12(0,12)	0,16(0,18)	0,12(0,15)	0,22(0,25)	0,18(0,18)
0,17	0,01	0,28(0,30)	0,27(0,35)	0,40(0,45)	0,30(0,35)	0,20(0,25)	0,25(0,30)	0,35(0,40)	0,30(0,30)	0,22(0,26)	0,12(0,15)	0,35(0,40)	0,28(0,30)
	0,03	0,40(0,45)	0,25(0,28)	0,42(0,45)	0,38(0,40)	0,30(0,35)	0,15(0,20)	0,45(0,50)	0,30(0,40)	0,35(0,45)	0,12(0,20)	0,45(0,52)	0,28(0,36)
	0,05	0,35(0,40)	0,15(0,20)	0,40(0,45)	0,35(0,40)	0,30(0,35)	0,20(0,25)	0,40(0,45)	0,30(0,35)	0,32(0,38)	0,15(0,20)	0,42(0,48)	0,28(0,30)

Tabel 6 (vervolg) SHM 8a t/m 8c

golfhoogte t.p.v. GHM 3 [m]	hoogte boven lokale bodem [m]	SHM 9a				SHM 9b				SHM 9c			
		+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]
0,06	0,01	0,15(0,15)	0,25(0,27)	0,10(0,12)	0,15(0,15)	0,15(0,18)	0,18(0,18)	0,08(0,08)	0,08(0,10)	0,12(0,12)	0,10(0,10)	0,15(0,15)	0,08(0,08)
	0,03	0,18(0,18)	0,25(0,25)	0,18(0,18)	0,12(0,12)	0,22(0,25)	0,15(0,18)	0,08(0,10)	0,05(0,05)	0,12(0,12)	0,12(0,12)	0,12(0,12)	0,08(0,08)
	0,05	0,18(0,18)	0,25(0,25)	0,18(0,18)	0,10(0,10)	0,15(0,15)	0,22(0,22)	0,12(0,12)	0,05(0,08)	0,10(0,10)	0,18(0,18)	0,20(0,20)	0,05(0,05)
0,13	0,01	0,28(0,28)	0,32(0,32)	0,35(0,35)	0,35(0,35)	0,32(0,35)	0,30(0,32)	0,28(0,30)	0,24(0,25)	0,28(0,30)	0,26(0,28)	0,30(0,32)	0,15(0,18)
	0,03	0,30(0,30)	0,30(0,35)	0,35(0,40)	0,35(0,35)	0,32(0,38)	0,30(0,32)	0,28(0,30)	0,28(0,30)	0,30(0,32)	0,25(0,28)	0,30(0,32)	0,20(0,22)
	0,05	0,30(0,30)	0,55(0,60)	0,40(0,45)	0,30(0,30)	0,32(0,35)	0,48(0,50)	0,48(0,55)	0,28(0,30)	0,32(0,35)	0,48(0,58)	0,40(0,48)	0,20(0,22)
0,17	0,01	0,32(0,35)	0,40(0,48)	0,60(0,85)	0,55(0,60)	0,50(1,05)	0,25(0,40)	0,50(0,65)	0,35(0,50)	0,50(0,60)	0,15(0,35)	0,60(0,80)	0,15(0,20)
	0,03	0,35(0,40)	0,52(0,60)	0,60(0,70)	0,52(0,57)	0,50(0,65)	0,30(0,35)	0,60(0,70)	0,35(0,50)	0,60(0,70)	0,25(0,40)	0,65(0,95)	0,20(0,35)
	0,05	0,40(0,90)	0,55(0,65)	0,70(0,75)	0,45(0,50)	0,45(0,65)	0,30(0,45)	0,70(0,90)	0,40(0,75)	1,65(1,35)	0,20(0,30)	0,65(1,00)	0,20(0,35)

Tabel 6 (vervolg) SHM 9a t/m 9c

golfhoogte t.p.v. GHM 3 [m]	hoogte boven lokale bodem [m]	SHM 10a				SHM 10b				SHM 10c			
		+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]	+u [m/s]	-u [m/s]	+v [m/s]	-v [m/s]
0,06	0,01	0,22(0,25)	0,60(0,70)	0,40(0,40)	0,22(0,22)	0,20(0,25)	0,60(0,65)	0,55(0,60)	0,10(0,15)	0,20(0,25)	0,50(0,55)	0,90(0,95)	0 (0,05)
	0,03	0,15(0,20)	0,60(0,65)	0,45(0,50)	0,05(0,10)	0,10(0,15)	0,50(0,55)	0,50(0,50)	0 (0)	0,15(0,15)	0,45(0,50)	0,45(0,50)	0 (0,05)
	0,05	0,10(0,15)	0,60(0,65)	0,40(0,45)	0,05(0,10)	0,05(0,05)	0,55(0,55)	0,45(0,45)	0 (0)	0 (0)	0,45(0,45)	0,45(0,45)	0 (0)
0,13	0,01	0,35(0,40)	0,60(0,70)	0,60(0,75)	0,45(0,50)	0,47(0,50)	0,47(0,50)	0,85(0,90)	0,25(0,25)	0,40(0,50)	0,40(0,45)	0,55(0,65)	0,30(0,40)
	0,03	0,40(0,45)	0,55(0,60)	0,55(0,60)	0,40(0,45)	0,47(0,50)	0,50(0,55)	0,60(0,65)	0,30(0,35)	0,40(0,45)	0,45(0,50)	0,60(0,65)	0,25(0,30)
	0,05	0,35(0,40)	0,90(1,20)	0,65(0,70)	0,35(0,45)	0,40(0,45)	1,00(1,50)	0,70(0,75)	0,40(0,55)	0,40(0,45)	0,65(1,15)	0,45(0,50)	0,15(0,20)
0,17	0,01	1,85(2,00)	1,25(2,00)	1,20(2,00)	0,80(1,60)	1,30(2,20)	0,50(1,20)	0,70(1,00)	0,50(0,55)	1,40(1,60)	0,35(0,35)	0,75(1,00)	0,30(0,40)
	0,03	2,30(2,60)	0,40(1,10)	0,80(1,20)	0,40(0,60)	1,90(2,10)	0,60(0,80)	0,80	0,50	1,90(2,20)	0,20(0,40)	-	-
	0,05	-	-	-	-	2,10(2,40)	0,30	0,90(1,00)	0,30	-	-	-	-

Tabel 6 (vervolg) SHM 10a t/m 10c

hoogte boven boven lokale bodem [m]	SHM 11a [m/s]	SHM 11b [m/s]	SHM 12a [m/s]	SHM 12b [m/s]
0,01	0,75	0,35	0,80	0,85
0,03	0,90	0,90	0,90	0,95
0,05	1,00	1,08	0,95	1,05
0,07	1,05	1,15	1,10	1,10
0,10	1,08	1,18	1,10	1,15
0,15	1,08	1,18	1,10	1,15
0,20	1,08	1,18	1,12	1,18
0,25	1,10	1,20	1,15	1,20
0,30	1,15	1,18	1,15	1,22
0,40			1,18	
0,50			1,35	

NB. Hoogte lokale bodem SHM 11: $z = 0,295$ m en SHM 12: $z = 0,39$ m

Tabel 7 Gemeten watersnelheden in de lokaties 11 en 12

Gat- nummer	T=11 N=7		T=12 N=29		T=13 N=81		T=14 N=1081									
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1																
2																
3																
4							15	4								
5							4	6								
6							13	24								
7							-12	12								
8							54	75								
9							155(160)	146(155)								
10							96(120)	133(143)								
11																
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 8 Geregistreeerde erosie, proefserie T11 t/m T14
(zand, G = 0,15 m, H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=100 N=7		T=101 N=29		T=102 N=81		T=103 N=183									
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1																
2																
3																
4																
5	-5	-3	0	6	4	-2	-6	4								
6	-7	-1	-2	4	0	-6	-15	-2								
7	-5	4	-1	11	-6	1	-21	9								
8	-8	2	-6	9	19	40	52	74								
9	21	15	50	48	99	98(104)	133(133)	130(140)								
10	26	20	77	85	127	93(122)	133(141)	135(150)								
11	-5(25)	-1(29)	-5(30)	35(38)	21(26)	54(89)	16(28)	80(113)								
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 9 Geregisteerde erosie, proefserie T100 t/m T103
(zand, G = 0,15 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=104 N=7		T=105 N=29		T=106 N=81		T=107 N=183									
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1							-14	-24								
2							-15	-21								
3							-10	-20								
4							-15	-16								
5	0	1	3	1	0	8	-22	-7								
6	-1	1	2	3	-5	7	-14	5								
7	-1	4	-6	1	-9	16	2(8)	26(27)								
8	10	9	30(45)	41	78(98)	84(93)	114(133)	155(116)								
9	31(55)	28 (43)	88(120)	91(113)	128(130)	126(145)	127(130)	124(139)								
10	27(48)	30(56)	127(103)	104(128)	149(160)	137(143)	149(160)	132(140)								
11	1	3(31)	21(36)	35(46)	37(45)	53(71)	37(45)	53(72)								
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 10 Geregistreeerde erosie, proefserie T104 t/m T107
(zand, G = 0,15 m, H = 0,16 m)

Gat- nummer	T=200 N=7		T=201 N=29		T=202 N=81		T=203 N=183		T=204 N=385		T=205 N=787		Noord	Zuid	Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid				
1	-2	-1	-6	-8	-6	-6	-22	-8			-29	-20				
2	1	1	5	7	4	7	-14	-2			-21	-10				
3	12	7	6	-5	16	-1	-1	-7			-11	-17				
4	5	3	2	-7	3	-1	-10	-9			-10	-16				
5	2	1	10	-9	23	-4	-6	-14	0	-23	-5	-22				
6	6	6	1	11	11	7	8	1	4	-3	-3	-9				
7	-2	-2	-4	1	-12	-1	-16	-11	-34	-16	-36	-24				
8	-1	-4	0	-11	0	2	5	20	20	39(22)	23(23)	38(40)				
9	3	-4	20(20)	8	33	43	71	72(87)	97	109(95)	109(115)	104(112)				
10	-3	-6	4(11)	5(9)	37	39	36	43(61)	37	54(88)	41(71)	67(89)				
11	0	0														
12	0	0														
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 11 Geregistreeerde erosie, proefserie T200 t/m T205
(zand, G = 0,12 m, H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=206 N=7		T=207 N=29		T=208 N=81		T=209 N=183		T=210 N=385		T=211 N=787		Noord	Zuid	Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid				
1									-2	2						
2									0	7						
3									2	6						
4									0	4	-1	1				
5	7	3	-1	7	3	7	4	9	12(99)	14	1	4				
6	5	-2	1	0	1	-3	3	-5	-2(-1)	-8	-20	-20				
7	-5	3	-6	1	-18	4(-18)	-20(-20)	8(13)	5(10)	43(40)	36	76				
8	-3	-1	-5	5(12)	11(11)	44(40)	54(54)	82(91)	125(125)	117(128)	129(134)	122				
9	7(89)	9(10)	23(37)	28(38)	83(97)	78(96)	108(133)	106(127)	126(137)	124(132)	129(134)	130(128)				
10	12(21)	14(22)	47(64)	54(69)	99(108)	91(109)	120(135)	118(133)	144(148)	136(143)	133(137)	131(144)				
11	0	-1	14	15(29)	21	69(81)	22	75(97)	27	82(63)	23	84				
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 12 Geregistreeerde erosie, proefserie T 206 t/m T211
(zand, G = 0,12 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=212 N=7		T=213 N=29		T=214 N=81		T=215 N=183									
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1							-3	1								
2							1	0								
3							-5	-3								
4							-11	2								
5	2	-4	2	-4	-6	-1	6	24								
6	-2	1	1	0	7	15	22	41								
7	3	1	7	12(14)	27	43	61(59)	66								
8	26(53)	34(52)	101	96(114)	140	144	147(147)	142								
9	45(62)	35(54)	120(142)	122(195)	152(155)	145(150)	147(135)	143(144)								
10	26(53)	31(54)	96(93)	108(101)	136(143)	132(142)	137(137)	134(142)								
11	19(37)	12(33)	55(62)	69(73)	80(95)	83(100)	127(109)	106(121)								
12	1	5	4	7	5	7	7	19(31)								
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 13 Geregistreeerde erosie, proefserie T 212 t/m T 215
(zand, G = 0,12 m, H = 0,17 m)

Gat- nummer	T=300 N=7		T=301 N=29		T=302 N=81		T=303 N=183		T=304 N=385		T=305 N=787		T=306 N=1589		T=307 N=1989	
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1													0	3	1	2
2													3	0	2	1
3													5	6	5	2
4							3	2					6	6	6	6
5	3	7	7	10	8	2	10	12	12	11	10	11	11	14	15	15
6	8	10	10	14	2	6	12	14	13	14	15	14	14	11	15	8
7	5	8	9	11	14	9	14	6	8	5	3	8	3	15	6	14
8	0	4	3	9	5	16	13	31	24	59	42	82	58	87	62	91
9	0	4	8	18	42	52	74	87	93	96	104	108	111	115	118	118
10	6	7	23	19	48	45	67	64	68	76	65	89	90	99	94	95
11															0	0
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 14 Geregistreerde erosie, proefserie T300 t/m T307
(zand, G = 0,08 m, H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=308 N=7		T=309 N=29		T=310 N=81		T=311 N=183		T=312 N=385		T=313 N=787		T=314 N=1589		Noord	Zuid	
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid			
1	0	1												-3	1		
2	-4	3												-1	5		
3	2	2												0	1		
4	-5	0												0	0		
5	2	0	1	0	0	2	-1	2	-2	2	-5	1	-12	-1			
6	3	0	3	3	6	4	4	4	-5	4	-5	13	-1	23			
7	3	1	4	4	-9	14	3	28	16	45	37	70	65	87			
8	-1	3	-3	25	38	62	75	88	107	103	116	122	128	133			
9	13	15	38	41	77	80	98	98	116	110	123	116	133	125			
10	15	16	53	54	73	76	89	96	105	109	113	113	125	126			
11	6	6	23	35	35	63	40	73	49	82	50	90	53	97			
12																	
13																	

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 15 Geregistreerde erosie, proefserie T308 t/m T314
(zand, G = 0,08 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=315 N=7		T=316 N=29		T=317 N=81		T=318 N=183		T=319 N=385							
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid
1	0	2	1	0	-1	-1	-1	0	-6	-2						
2	-4	-2	2	-2	0	-3	2	-5	-6	-9						
3	1	-1	1	0	0	4	-5	-4	1	-8						
4	-1	0	7	2	2	2	3	8	0	17						
5	6	3	7	6	10	14	16	29	28	42						
6	2	2	5	7	10	16	30	34	50	52						
7	2	8	16	25	36	48	50	75	69	96						
8	39	36	74	72	97	101	122	121	132	136						
9	44	44	95	95	128	137	143	144	144	146						
10	42	44	86	89	113	117	122	127	130	136						
11	27	26	57	60	76	82	99	94	106	111						
12	0	6	2	6	2	8	2	13	3	14						
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 16 Geregistreeerde erosie, proefserie T315 t/m T319
(zand, G = 0,08 m, H = 0,17 m)

Gat- nummer	T=400 N=7		T=401 N=29		T=402 N=81		T=403 N=183		T=404 N=385		T=405 N=787		Noord	Zuid	Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid				
1	3	7	5	12	5	28			6	27	9	33				
2	3	0	7	1	8	3			7	5	7	4				
3	2	2	5	2	5	4			4	4	5	5				
4	2	-2	5	2	6	3			6	0	7	3				
5	2	2	2	3	4	4	6	4	5	2	7	3				
6	2	2	5	2	6	4	6	5	7	6	8	9				
7	2	1	4	4	6	5	7	5	7	6	8	5				
8	7	2	9	2	9	3	11	5	10	5	11	5				
9	3	-1	8	0	11	3	13	6	15	8	19	13				
10	1	-1	2	-1	4	2	6	5	21	10	35	21				
11	0	0	0	0												
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 17 Geregistreeerde erosie, proefserie T 400 t/m T 405
(grond, G = 0,08 m, H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=406 N=7		T=407 N=29		T=408 N=81		T=409 N=183		T=410 N=385		T=411 N=787		T=412 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1			-3	2	1	5							1	6		
2			0	0	1	1							0	2		
3			0	3	0	2							0	3		
4	0	2	-1	2	0	2							2	2		
5	0	3	0	4	0	3	1	4	0	4	1	5	2	4		
6	13	2	12	1	15	3	15	2	14	3	16	4	15	5		
7	0	0	1	3	2	4	3	4	5	6	6	10	9	15		
8	0	0	2	2	3	3	5	5	11	9	20	15	35	26		
9	10	9	18	17	22	21	30	25	41	34	55	50	82	82		
10	6	0	12	5	16	14	27	26	37	31	55	41	62	52		
11	-1	0	0	1	2	7	3	9	9	14	17	21	36	44		
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 18 Geregistreeerde erosie, proefserie T406 t/m T412
(grond, G = 0,08 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=413 N=7		T=414 N=29		T=415 N=81		T=416 N=183		T=417 N=431		T=418 N=931		Noord	Zuid	Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid				
1											0	-1				
2											-1	5				
3											-1	0				
4	1	1	1	1	2	2	3	4	5	5	10	9				
5	1	1	1	2	2	3	3	3	4	6	8	11				
6	1	4	3	6	5	7	8	7	10	12	13	15				
7	3	4	6	10	8	14	12	18	14	24	21	32				
8	9	24	21	36	43	39	49	43	56	108	68	90				
9	15	10	25	20	65	36	91	84	104	64	155	134				
10	10	4	15	7	28	17	41	53	64	49	79	72				
11	2	4	4	9	10	13	25	21	42	0	60	81				
12		0	0	1	0	1	1	1	0		1	1				
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 19 Geregistreerde erosie, proefserie T413 t/m T418
(grond, G = 0,08 m, H = 0,17 m)

Gat- nummer	T=500 N=7		T=501 N=29		T=502 N=81		T=503 N=183		T=504 N=385		T=505 N=787		T=506 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1									-1	-5	2	-3				
2									-3	-1	2	0				
3									0	2	3	2				
4	1	3	2	5	2	1	4	4	3	5	5	5	6	7		
5	0	0	1	1	1	1	1	4	1	4	0	1	2	2		
6	2	0	2	2	3	3	4	4	7	3	5	2	2	2		
7	1	-1	3	0	1	-1	0	-4	2	-6	-7	-5	-9	-8		
8	3	5	4	7	7	7	8	8	10	13	9	27	13	39		
9	1	1	2	7	5	15	20	34	41	59	75	91	101	104		
10	2	1	5	3	11	8	24	29	47	54	55	78	59	98		
11																
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 20 Geregistreeerde erosie, proefserie T500 t/m T506
(grond, G = 0,15 m H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=510 N=7		T=511 N=29		T=512 N=81		T=513 N=183		T=514 N=385		T=515 N=787		T=516 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1													1	0		
2													2	0		
3													-2	4		
4	-1	0	-1	1	-3	1	4	-1	-4	-3	-5	0	-5	-1		
5	5	6	5	9	5	8	4	8	2	6	0	8	1	8		
6	2	-1	-6	2	6	0	-3	-6	10	-5	-11	-7	-15	-10		
7	0	2	1	6	6	12	5	10	5	12	11	24	34	60		
8	1	9	3	9	8	16	16	31	50	82	87	130	122	155		
9	7	12	17	28	32	53	54	83	137	133	147	138	148	138		
10	7	11	20	22	36	44	54	59	130	129	150	147	153	148		
11	0	0	0	4	0	12	1	31	1	62	3	75	22	91		
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 21 Geregistreeerde erosie, proefserie T510 t/m T516
(grond, G = 0,15 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=520 N=7		T=521 N=29		T=522 N=81		T=523 N=183		T=524 N=385		T=525 N=787		T=526 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1													-4	-5		
2													-5	-4		
3													-2	-1		
4	2	1	4	3	3	5	5	8	4	15	6	15	8	12		
5	0	5	1	4	4	6	7	9	13	13	20	22	28	31		
6	3	7	4	10	4	12	7	14	11	15	15	22	29	33		
7	7	1	12	5	12	5	18	7	26	15	44	42	78	99		
8	16	28	27	42	35	46	46	52	70	64	125	156	157	152		
9	17	15	52	31	92	59	135	111	143	141	141	149	140	143		
10	3	4	14	24	40	39	72	55	105	63	146	152(130)	140	148		
11	3	2	9	16	23	26	37	35	50	47	161	155	155	152		
12							0	1	0	0	0(170)	1	0	0		
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 22 Geregistreeerde erosie, proefserie T520 t/m T526
(grond, G = 0,15 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=600 N=7		T=601 N=29		T=602 N=81		T=603 N=183		T=604 N=385		T=605 N=787		T=606 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1													2	2		
2													1	3		
3													3	2		
4	1	3	2	3	2	4	3	4	3	4	5	6	4	8		
5	0	1	1	2	2	3	2	5	2	4	3	7	4	10		
6	2	4	2	5	4	6	4	8	5	9	4	10	4	13		
7	2	3	2	3	2	2	3	3	3	5	5	5	3	4		
8	1	0	1	2	2	2	3	4	6	6	7	8	11	15		
9	1	0	3	3	5	6	7	8	8	14	16	20	24	29		
10	0	0	2	1	6	2	7	3	10	15	15	15	23	25		
11													-1	1		
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 23 Geregistreeerde erosie, proefserie T600 t/m T606
(grond, G = 0,12 m, H = 0,06 m)

Gat- nummer	T=610 N=7		T=611 N=29		T=612 N=81		T=613 N=183		T=614 N=385		T=615 N=787		T=616 N=1589		Noord	Zuid
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid		
1													2	1		
2													3	4		
3													0	1		
4	0	3	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3		
5	1	3	2	2	1	0	3	1	2	2	1	0	-1	-1		
6	1	4	2	2	-1	3	2	2	-1	0	-2	0	-2	0		
7	2	3	3	3	3	5	6	6	10	7	9	7	11	10		
8	-1	3	2	5	7	13	8	18	12	22	19	30	28	43		
9	2	3	12	13	24	31	27	32	30	38	44	47	63	67		
10	2	5	18	20	27	34	33	39	40	48	50	60	71	90		
11	0	0	1	1	0	5	1	9	0	16	2	23	2	34		
12																
13																

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 24 Geregistreeerde erosie, proefserie T610 t/m T616
(grond, G = 0,12 m, H = 0,13 m)

Gat- nummer	T=620 N=7		T=621 N=29		T=622 N=81		T=623 N=183		T=624 N=385		T=625 N=787		T=626 N=1589		Noord	Zuid	
	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid	Noord	Zuid			
1														-2	-1		
2														-2	-2		
3														2	1		
4	-1	3	1	5	5	7	6	5	7	7	7	8	3	11			
5	-1	2	0	1	1	4	1	4	3	5	3	8	9	14			
6	3	5	3	8	7	9	9	9	11	11	15	14	21	22			
7	2	4	6	5	9	8	11	10	11	13	15	19	27	30			
8	14	16	24	26	26	46	32	55	37	63	54	72	70	109			
9	15	58	51	72	65	74	73	78	79	85	147	95	150	132			
10	4	8	14	15	69	60	76	96	85	108	104	143	136	148			
11	0	5	5	12	9	24	14	42	19	53	30	64	44	131			
12																	
13																	

Toelichting: Erosie in mm (negatieve waarden betekent aanzanding);
vermelde waarden zijn gemiddelden, extremen zijn tussen haakjes vermeld

Tabel 25 Geregistreeerde erosie, proefserie T620 t/m T626
(grond, G = 0,12 m, H = 0,17 m)

vaarweg klasse	vaarweggegevens				scheepsgegevens				overige gegevens	
	water diepte	water spiegel breedte	bodem breedte	dwars profiel	lengte	breedte	diep gang	groot spant opp.	grens- snelheid volgens Schijf [m/s]	maximale vaarsnelheid [m/s]
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m]	[m]	[m ²]		
II	3,5	45,1	20,6	115,0	55	6,6	2,5	16,5	2,75	2,50
IV	4,0	60,4	32,4	185,6	85	9,5	2,8	26,6	3,05	2,75
V	4,2	70,5	41,1	234,5	95	11,5	3,0	34,5	3,10	2,80
VI	4,7	118,9	86,0	481,5	185	22,8	3,3	75,24	3,35	3,05

Opmerking 1: De scheepsgegevens betreffen geladen maatgevende schepen. Kleinere schepen geven meestal een geringere waterbeweging ondanks de veelal hogere vaarsnelheid.

Hetzelfde geldt voor ongeladen schepen.

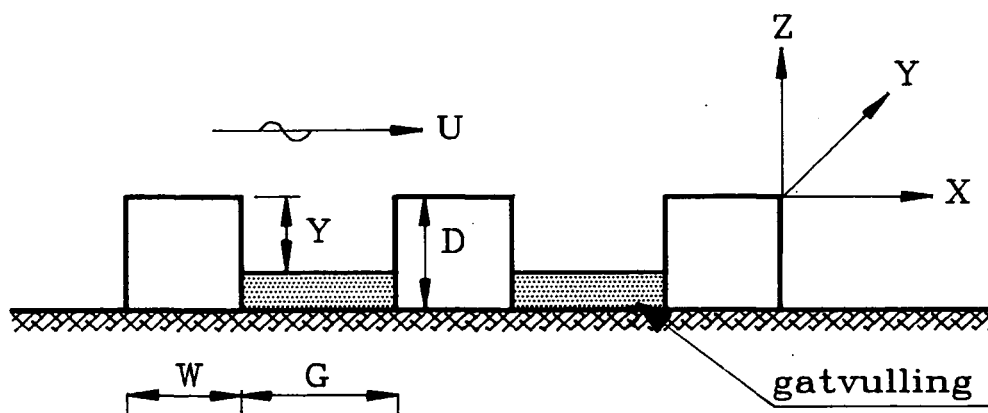
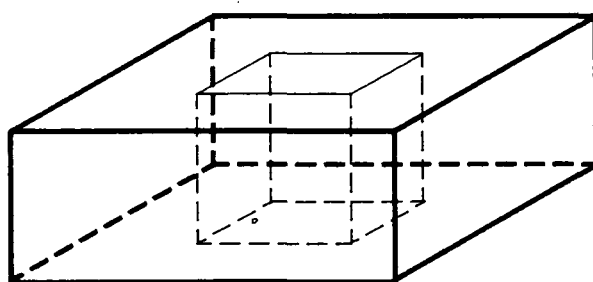
" 2: De maximale vaarsnelheid is 90% van de grenssnelheid volgens Schijf. Hetzelfde schip in een grotere vaarweg kan uiteraard een hogere vaarsnelheid bereiken.

Tabel 26 Berekeningsgegevens voor vertaling meetresultaten naar de werkelijke scheepsgeïnduceerde waterbeweging

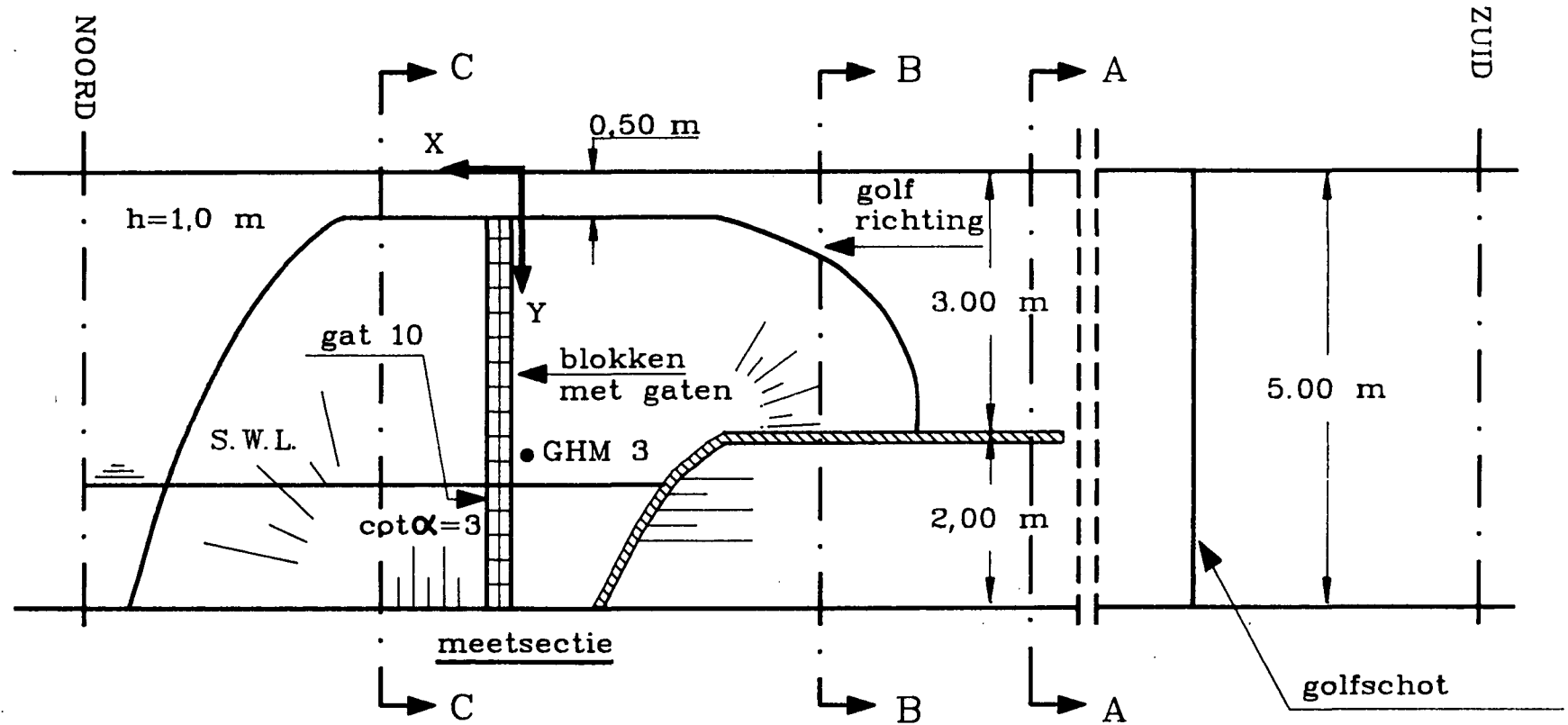
proef serie T...	gat- grootte G [mm]	erosie Y_e [mm]	aantal golven N_e [-]	C_1 [mm]
11	150	150	< 1000	49,99
100	150	150	< 500	55,56
104	150	150	< 100	74,84
200	120	120	\pm 1500	37,78
206	120	150	< 1000	49,99
212	120	150	< 100	74,84
300	80	120	\pm 2000	36,35
308	80	140	\pm 1500	44,08
315	80	150	< 500	55,56
500	150	125	\pm 2000	37,86
510	150	150	< 750	52,16
520	150	150	< 500	55,56
600	120	25	\pm 1500	7,87
610	120	75	\pm 1500	23,61
620	120	150	< 750	52,16
400	80	55	\pm 1000	18,33
406	80	100	\pm 2000	30,29
413	80	150	< 1000	49,99

Tabel 27 Geschatte waarden evenwichts-
ontgrondingsdiepte Y_e en bij-
behorende aantal golven N_e

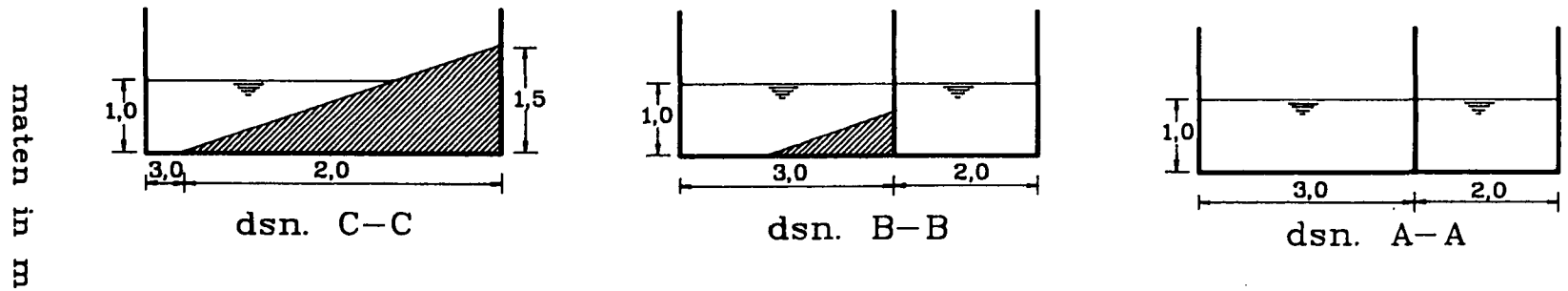
OPEN BEKLEDINGSBLOK

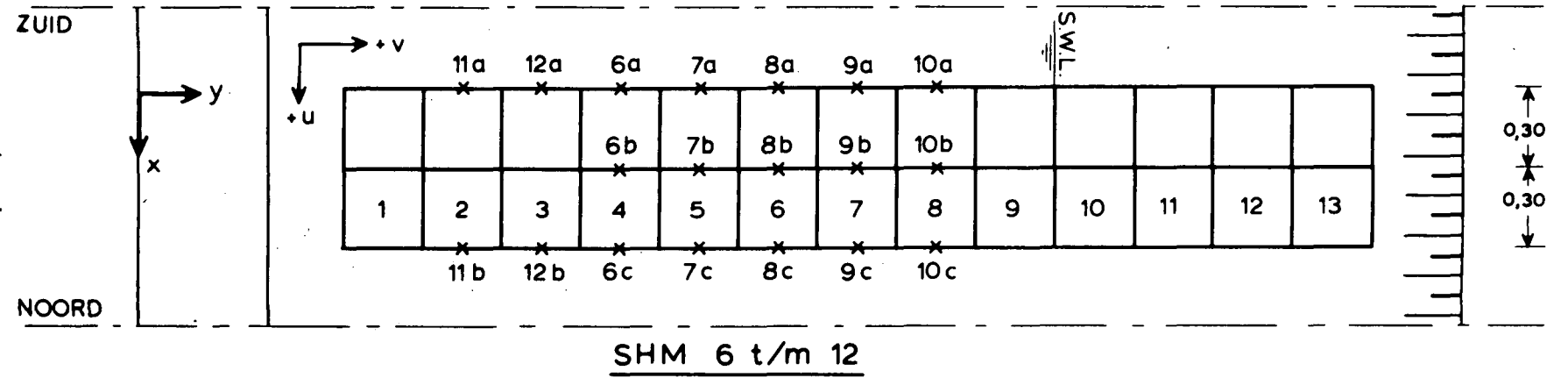
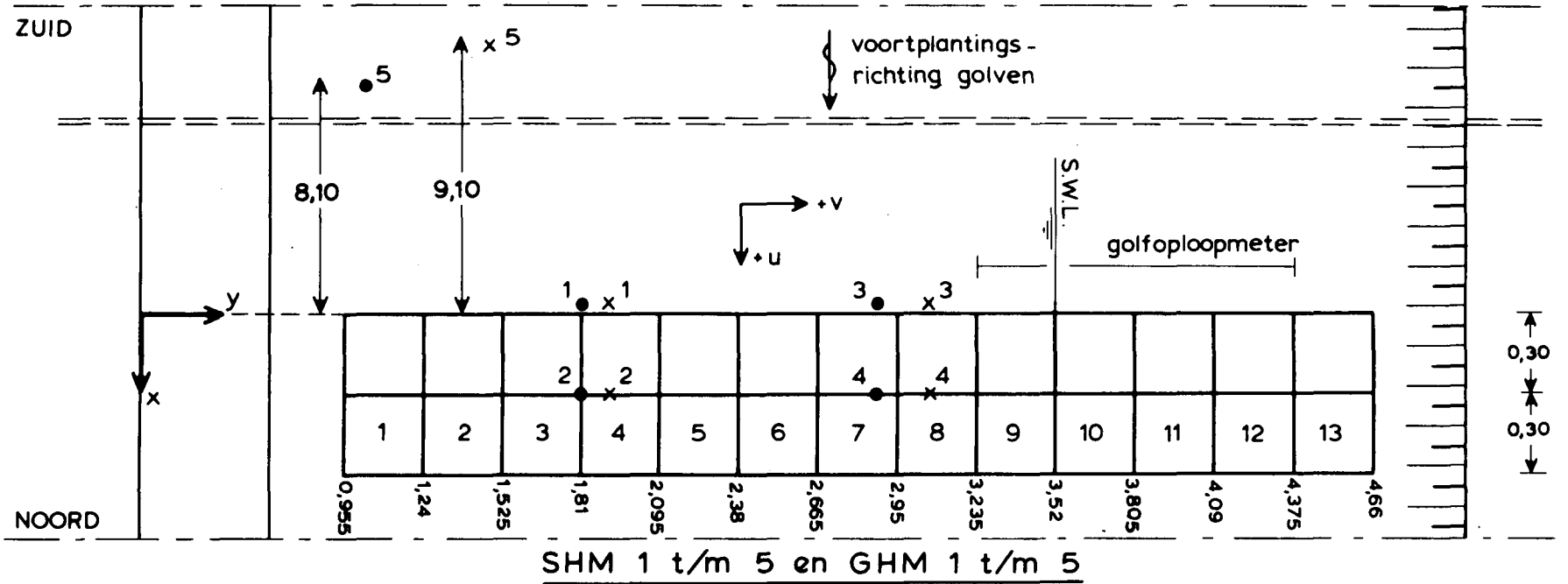


DEFINITIES



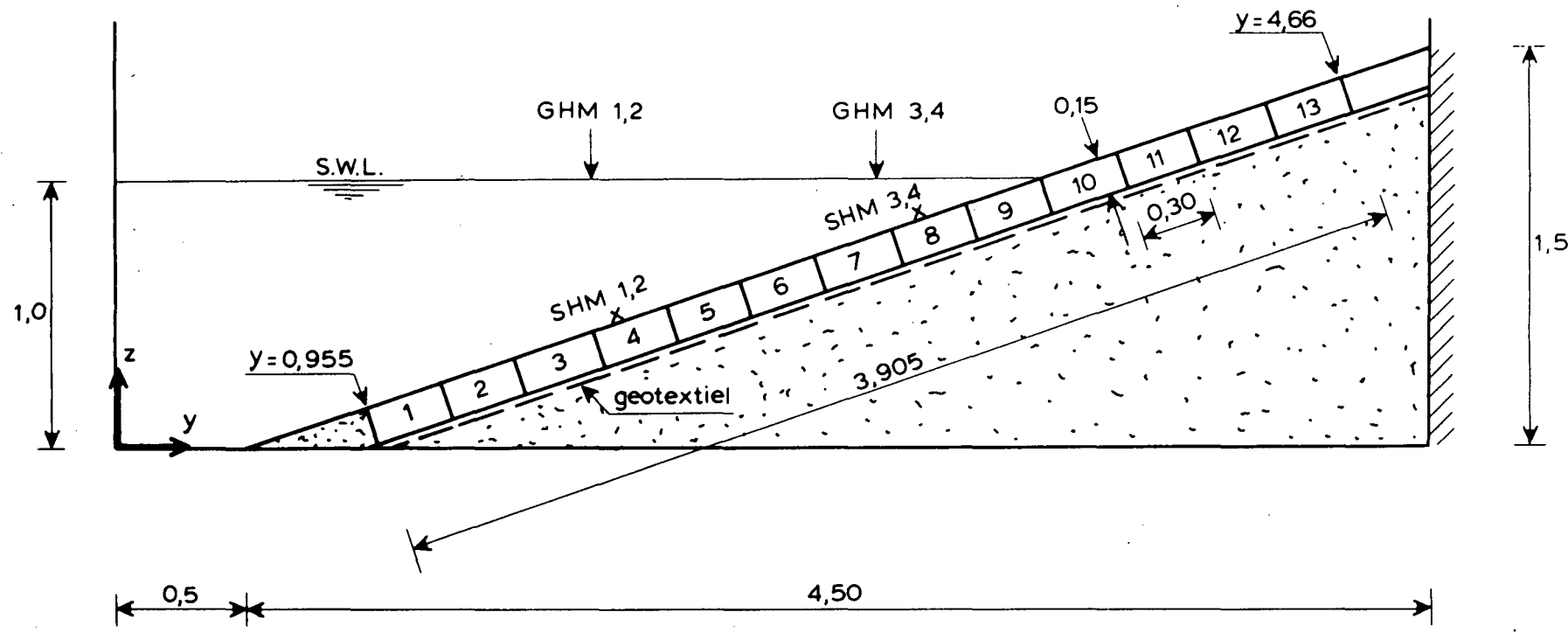
BOVENAANZICHT





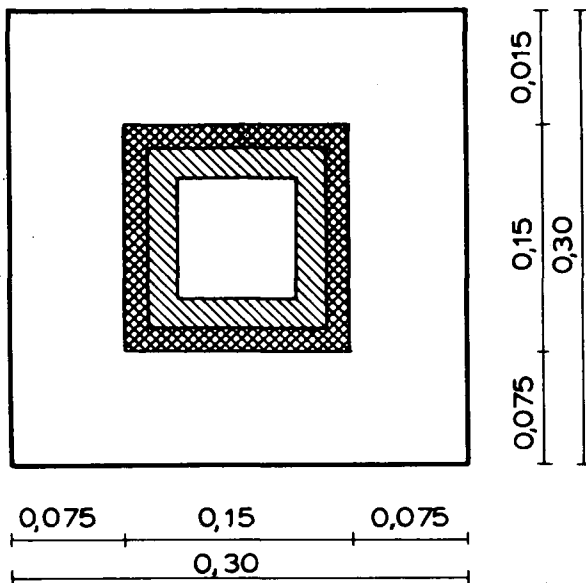
maten in m

DOORSNEDE TALUD TER PLAATSE VAN
MEETSEKTIJE MET BLOKNUMMERING



maten in m

voortplantings-
richting golven



Verklaring:

□ G = 0,08 m

▨ G = 0,12 m

▩ G = 0,15 m

blokdikte 0,15 m

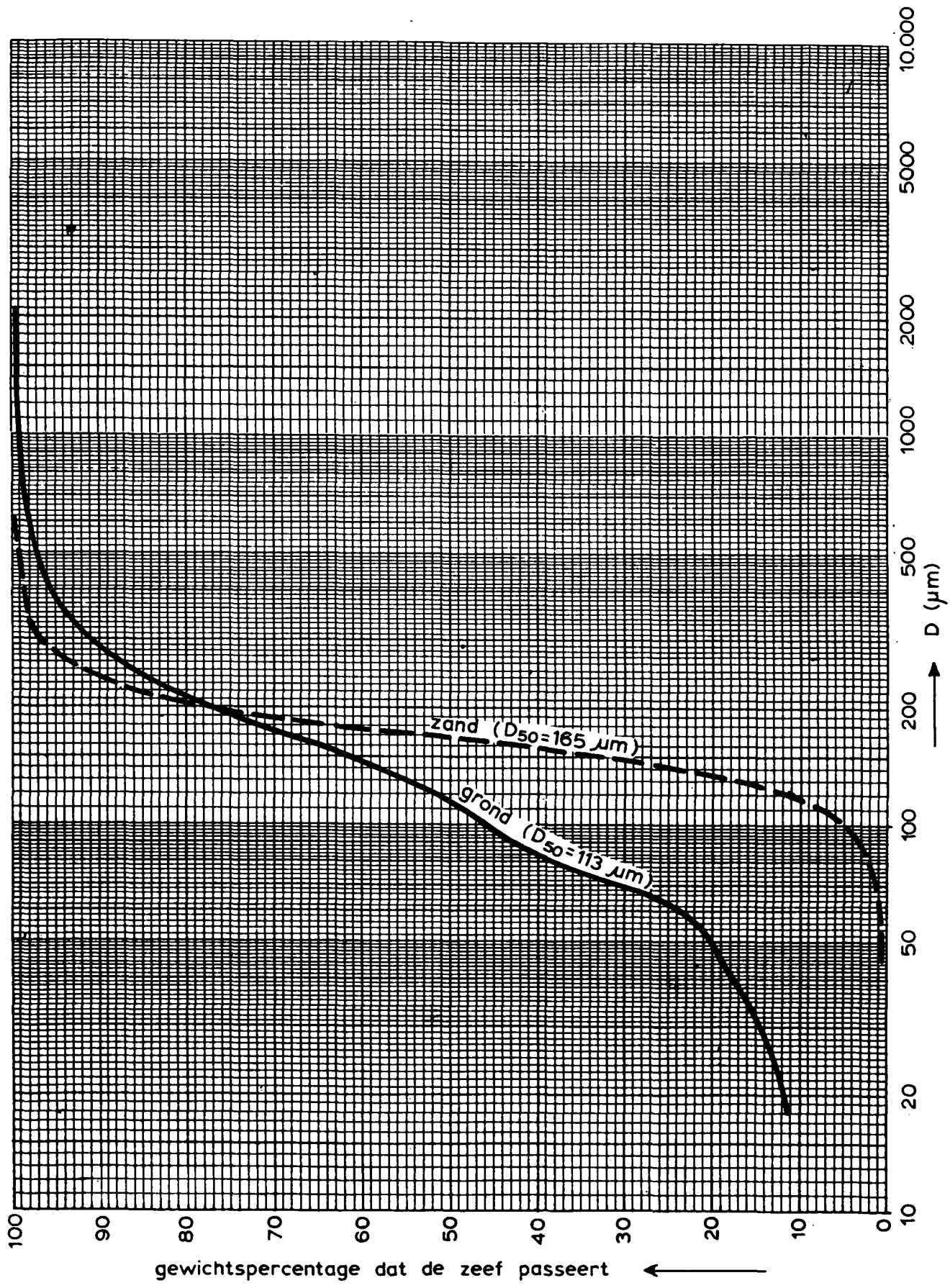
maten in m

OPEN BEKLEDINGSBLOK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 5

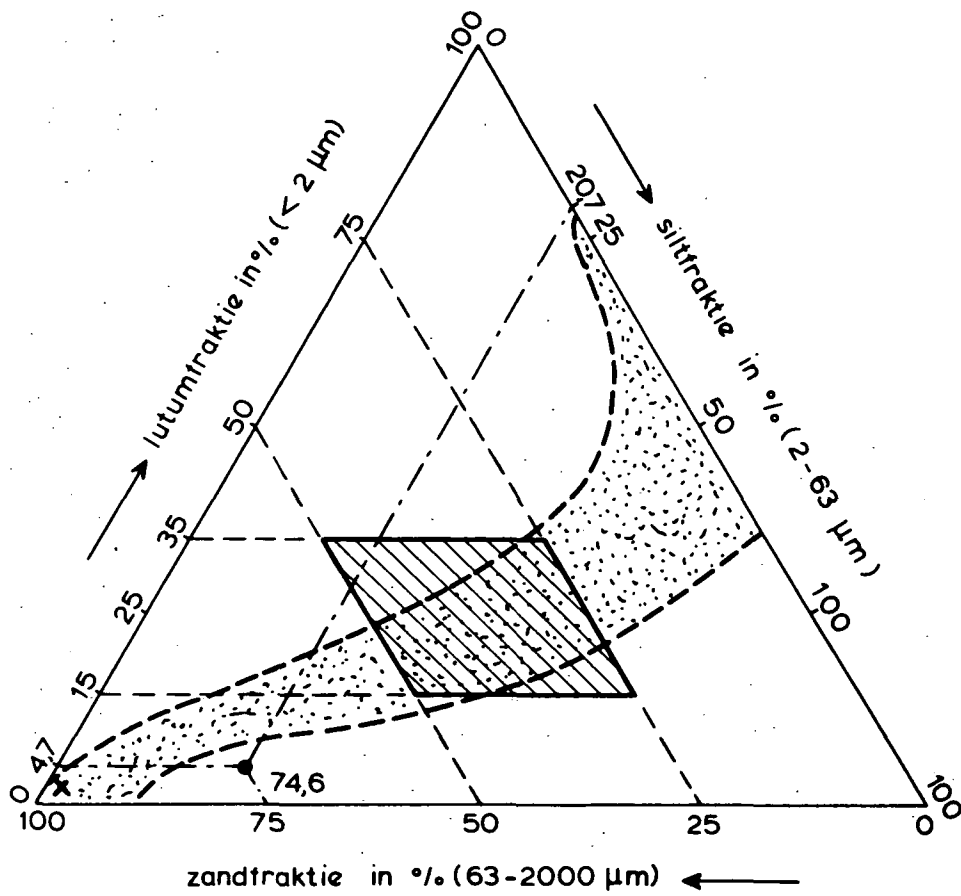


KORRELVERDELINGEN ZAND EN GROND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 6



kleien aanbevolen voor taluds



nederlandse kleien

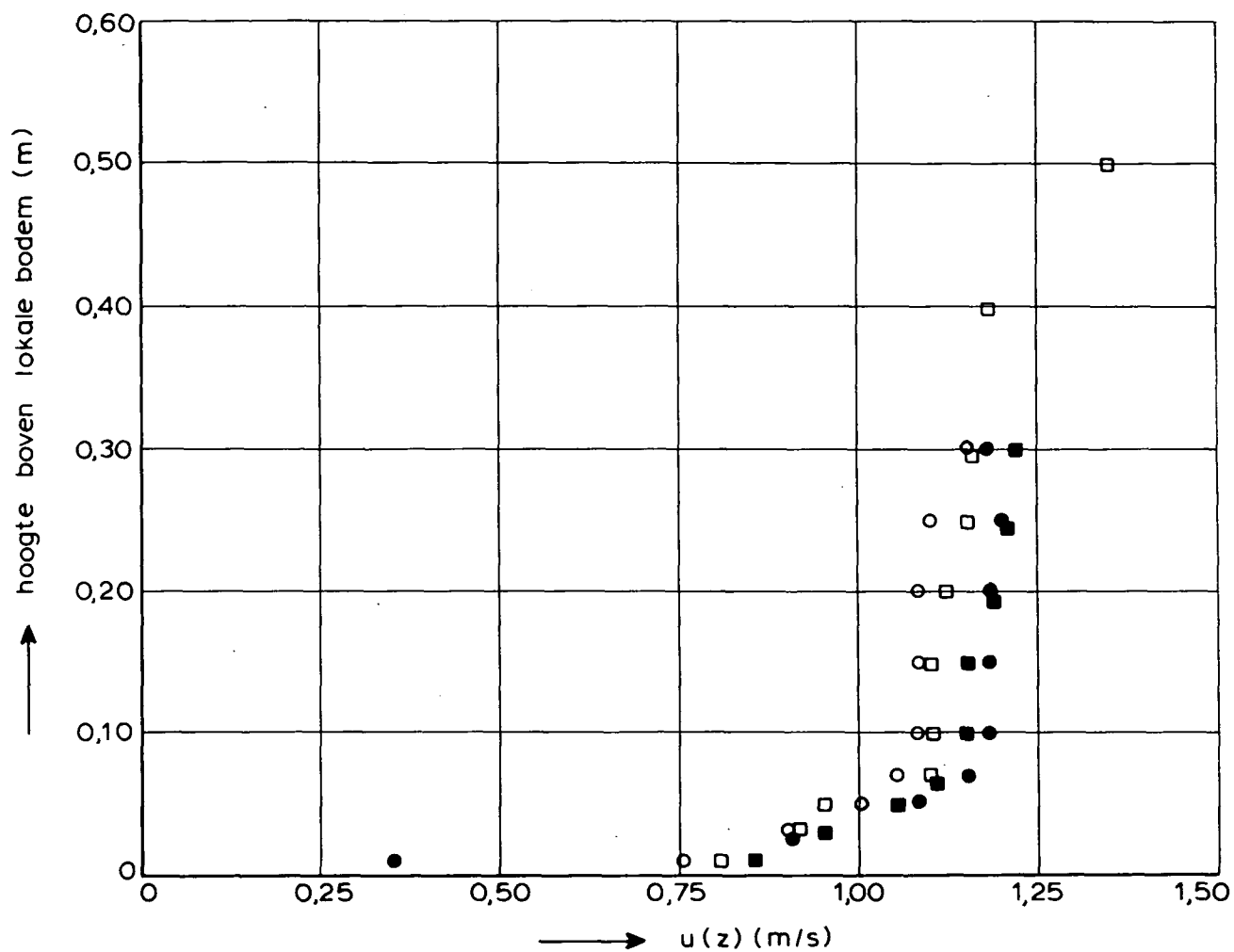
x

zand, $D_{50} = 165 \mu\text{m}$

•

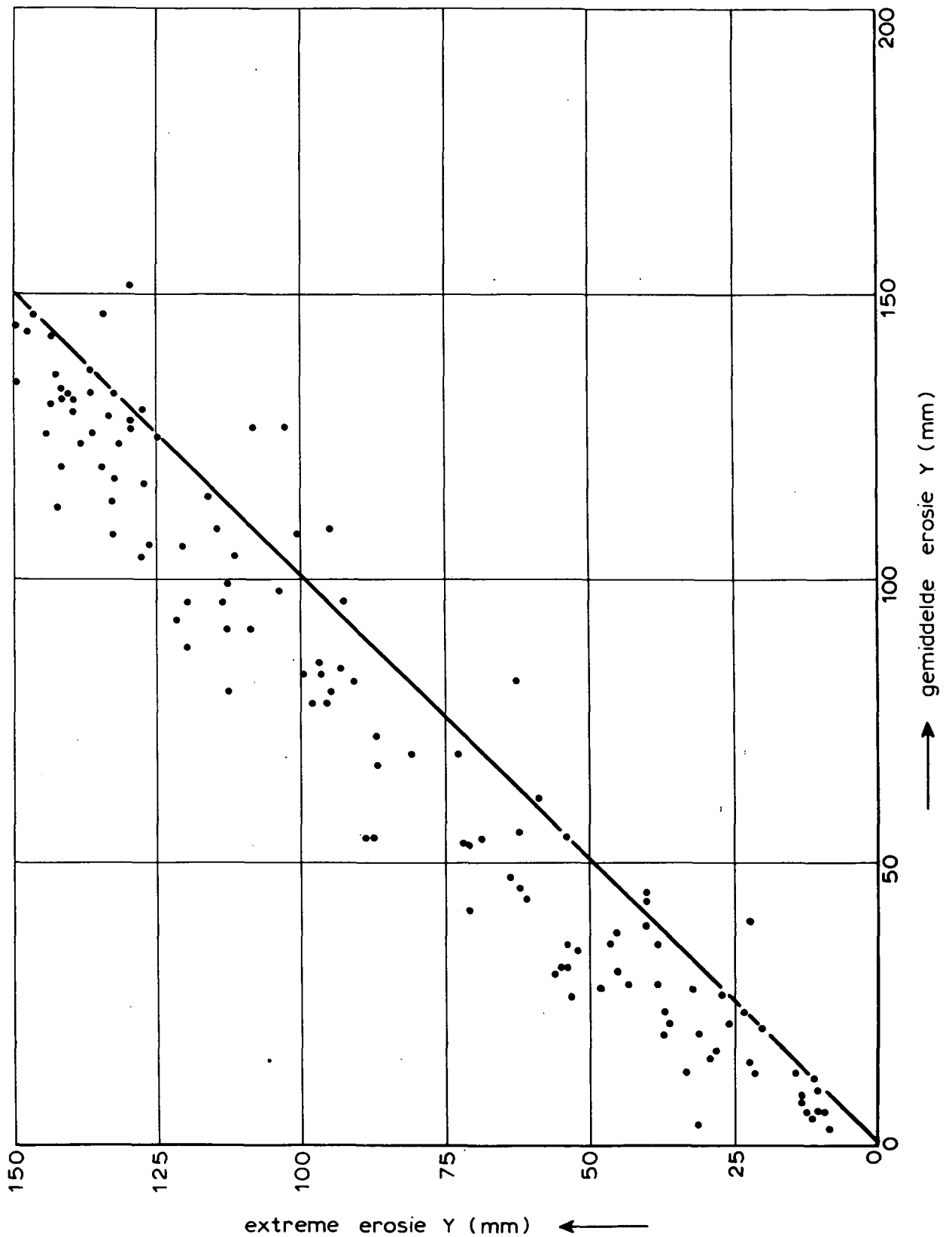
grond, $D_{50} = 113 \mu\text{m}$

GRONDDRIEHOEK



- SHM 11a
- SHM 11b
- SHM 12a
- SHM 12b

SNELHEIDSPROFIELEN SHM 's 11 EN 12

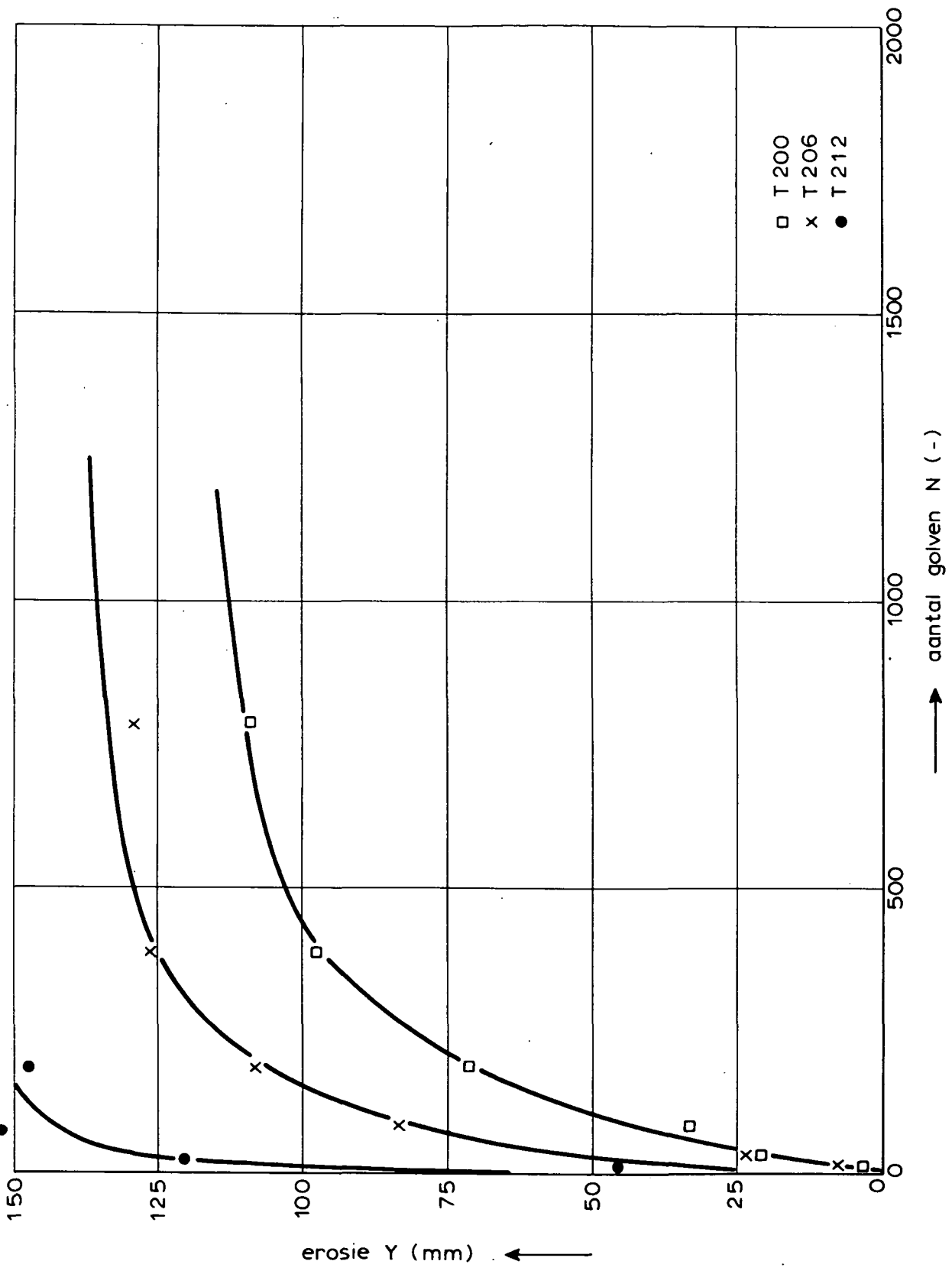


VERGELIJKING GEMIDDELDE EN EXTREME EROSIE,
ALLE WAARDEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 9



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

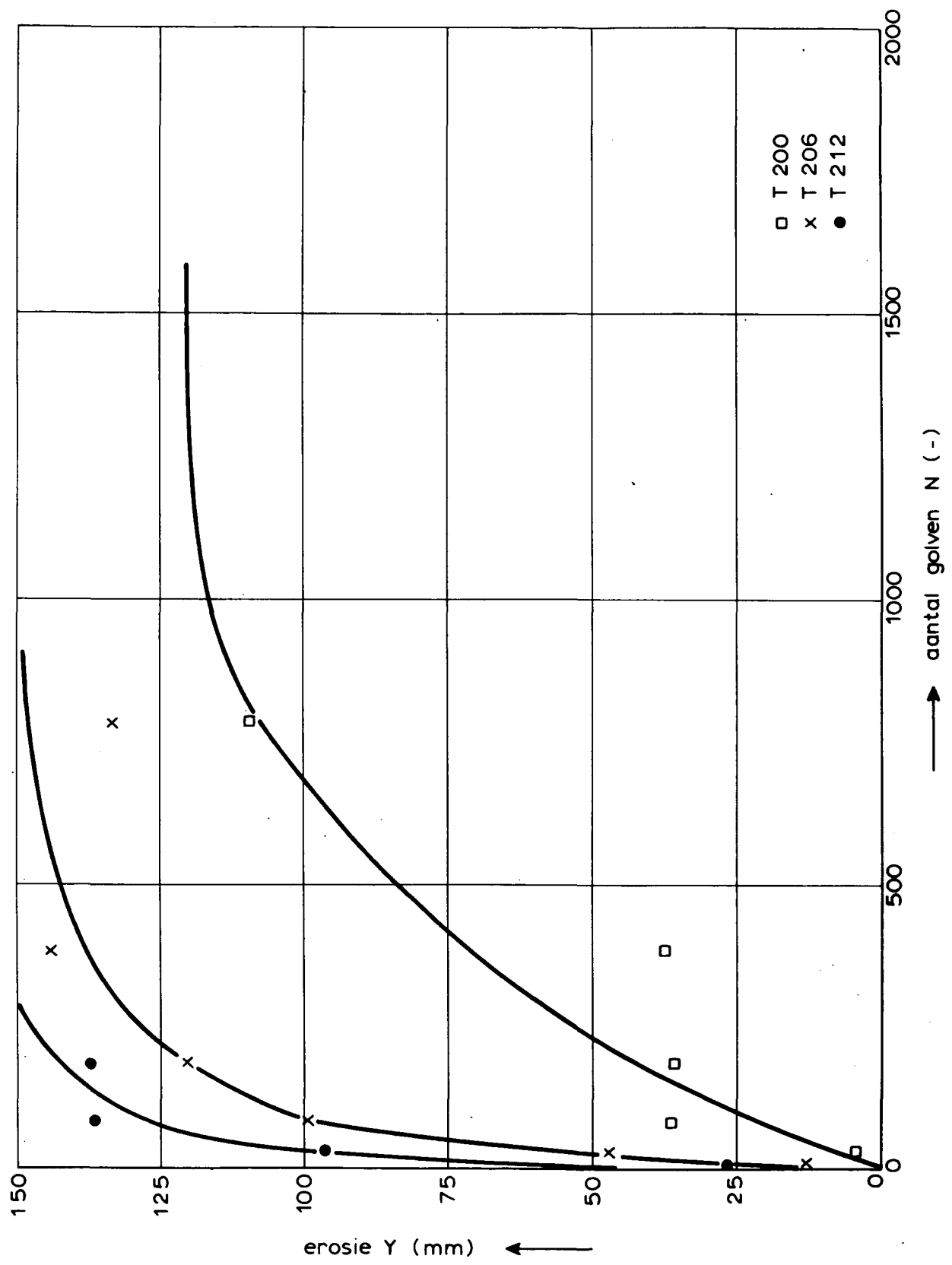
GAT 9 G = 120mm

T 200 ... T 215

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 10



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

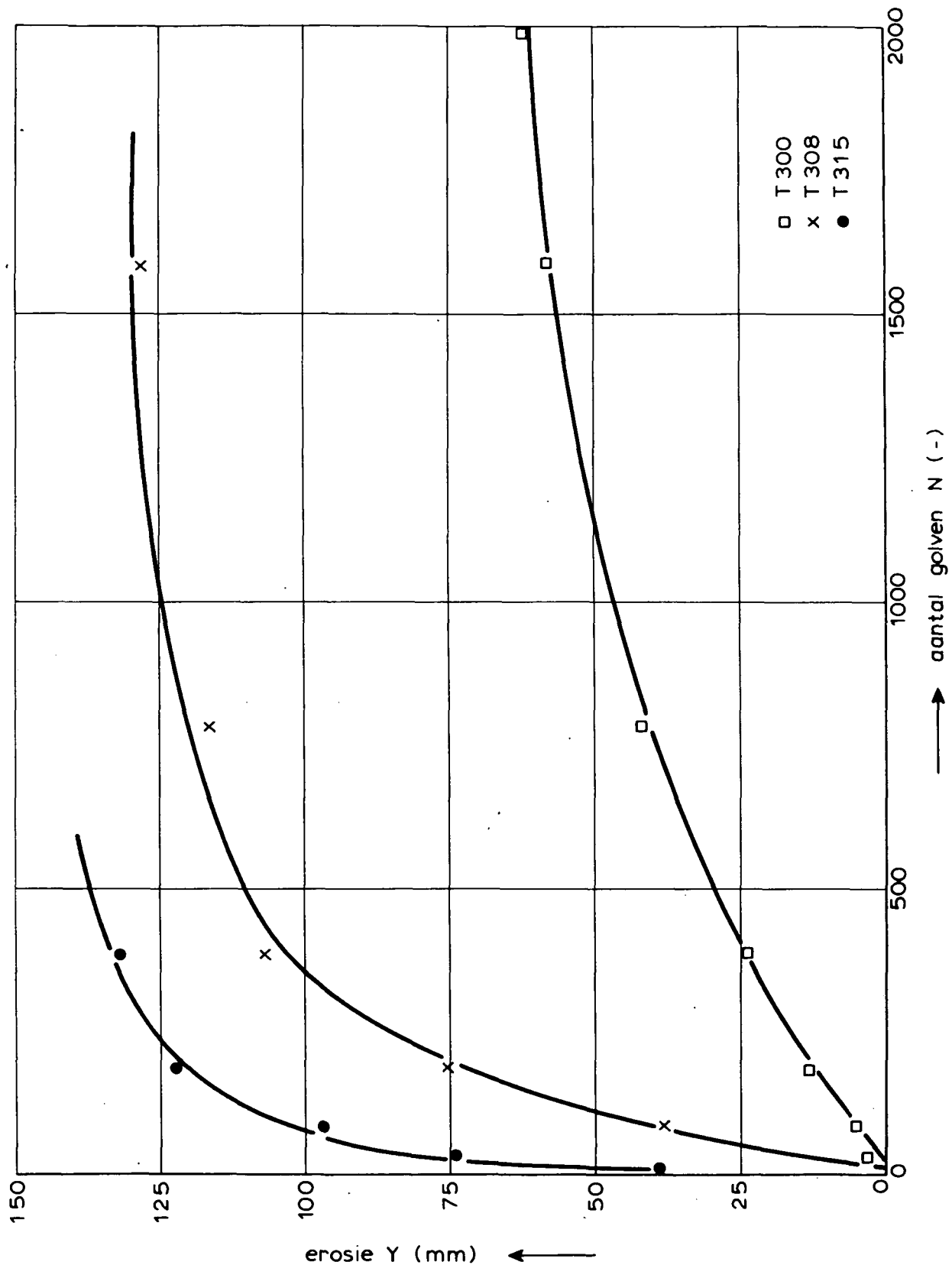
GAT 10 G = 120mm

T 200 ... T 215

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 11



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

GAT 8

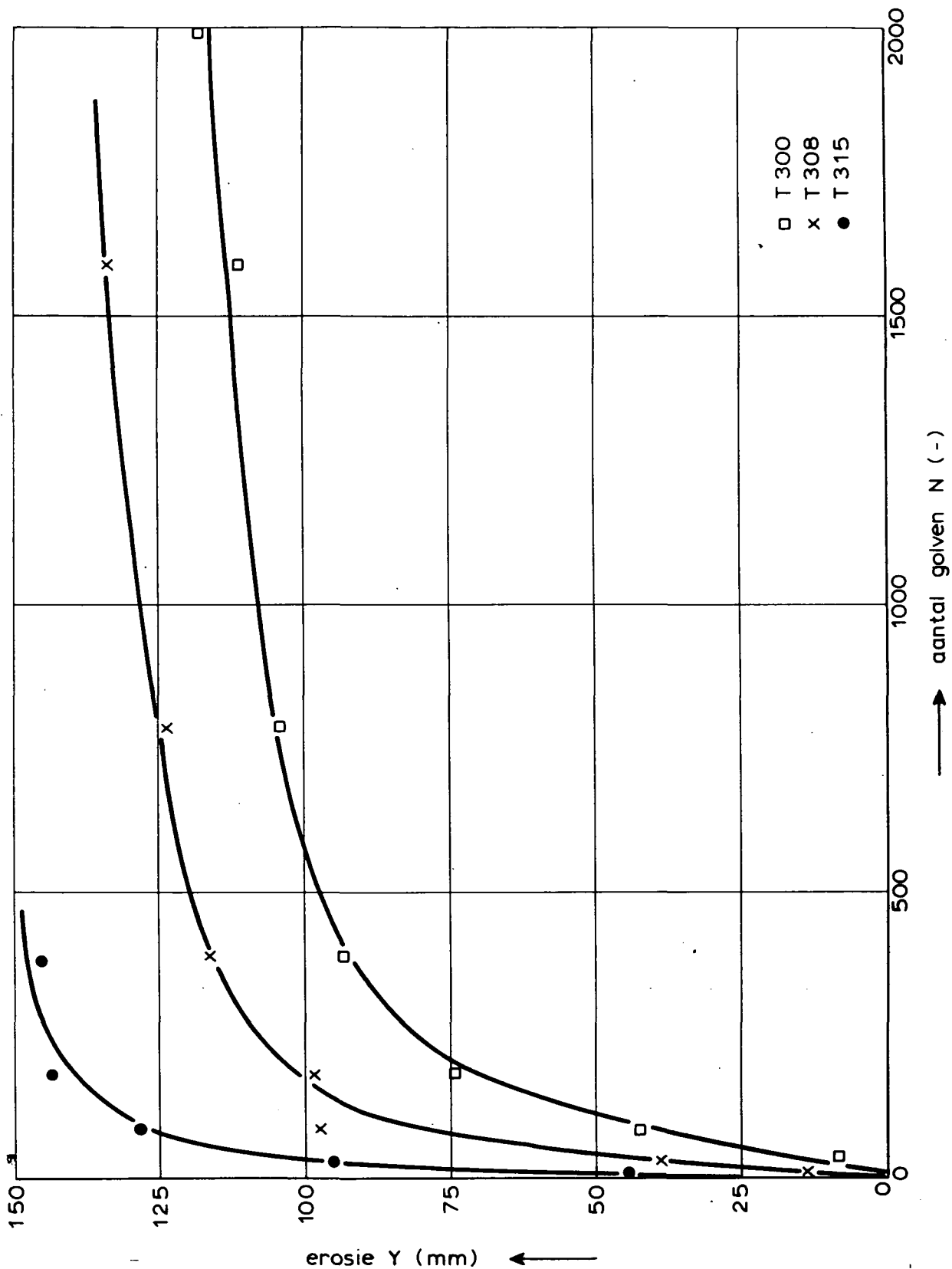
G=80 mm

T 300 ... T 319

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 12



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

GAT 9

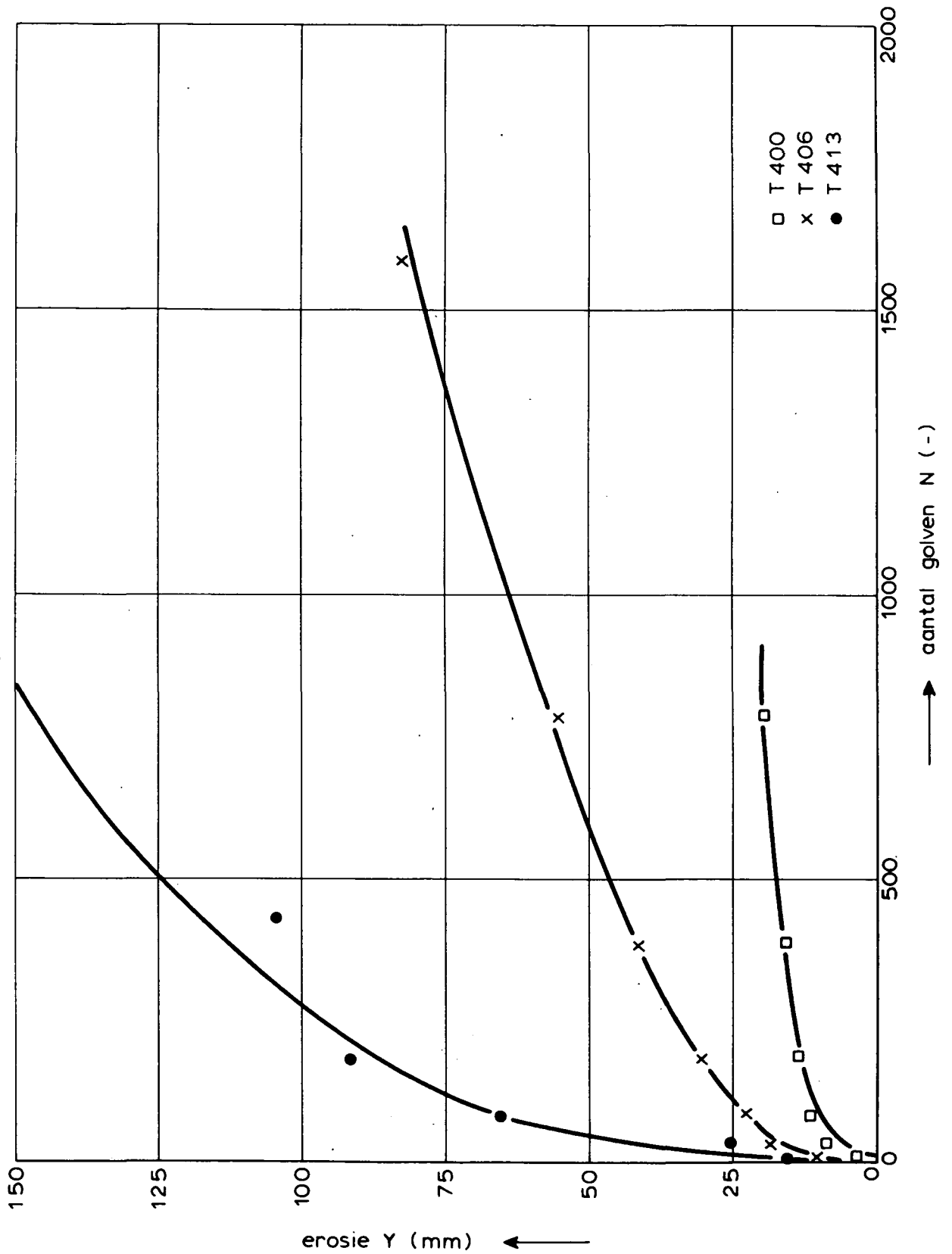
G = 80mm

T 300 ... T 319

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 13



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

GAT 9

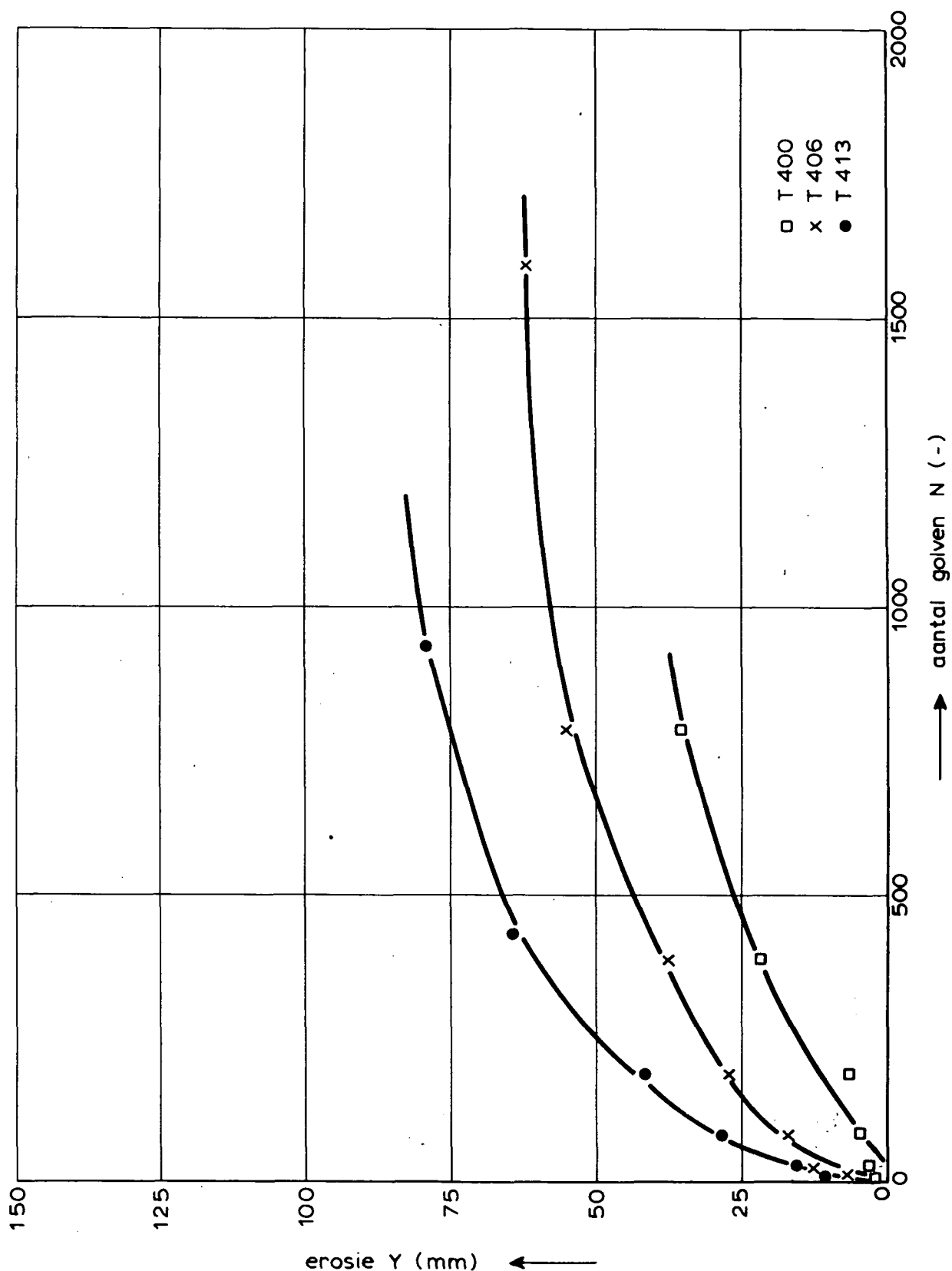
G = 80mm

T 400... T 418

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 14



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

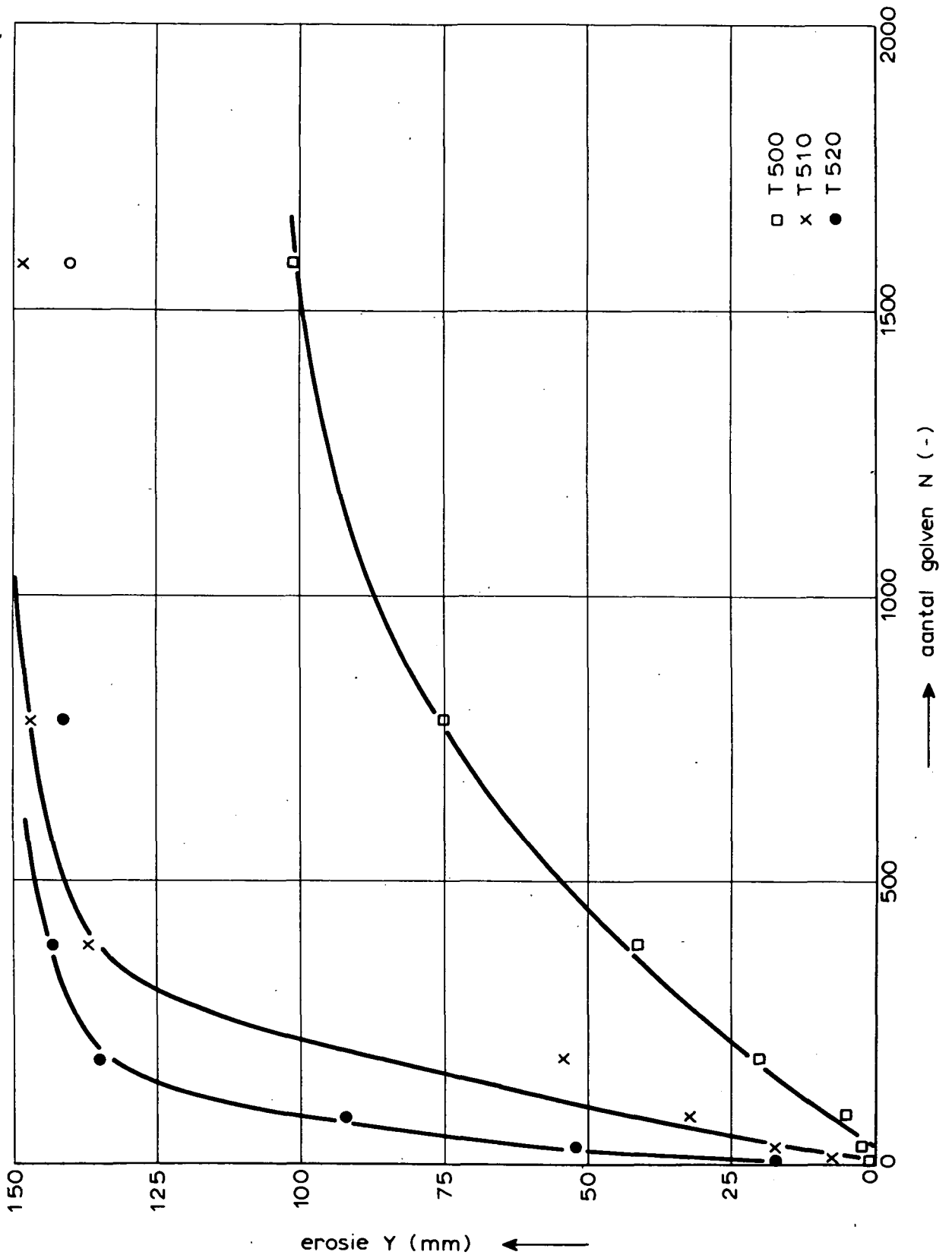
GAT 10 G = 80 mm

T 400 ... T 418

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 15



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

GAT 9

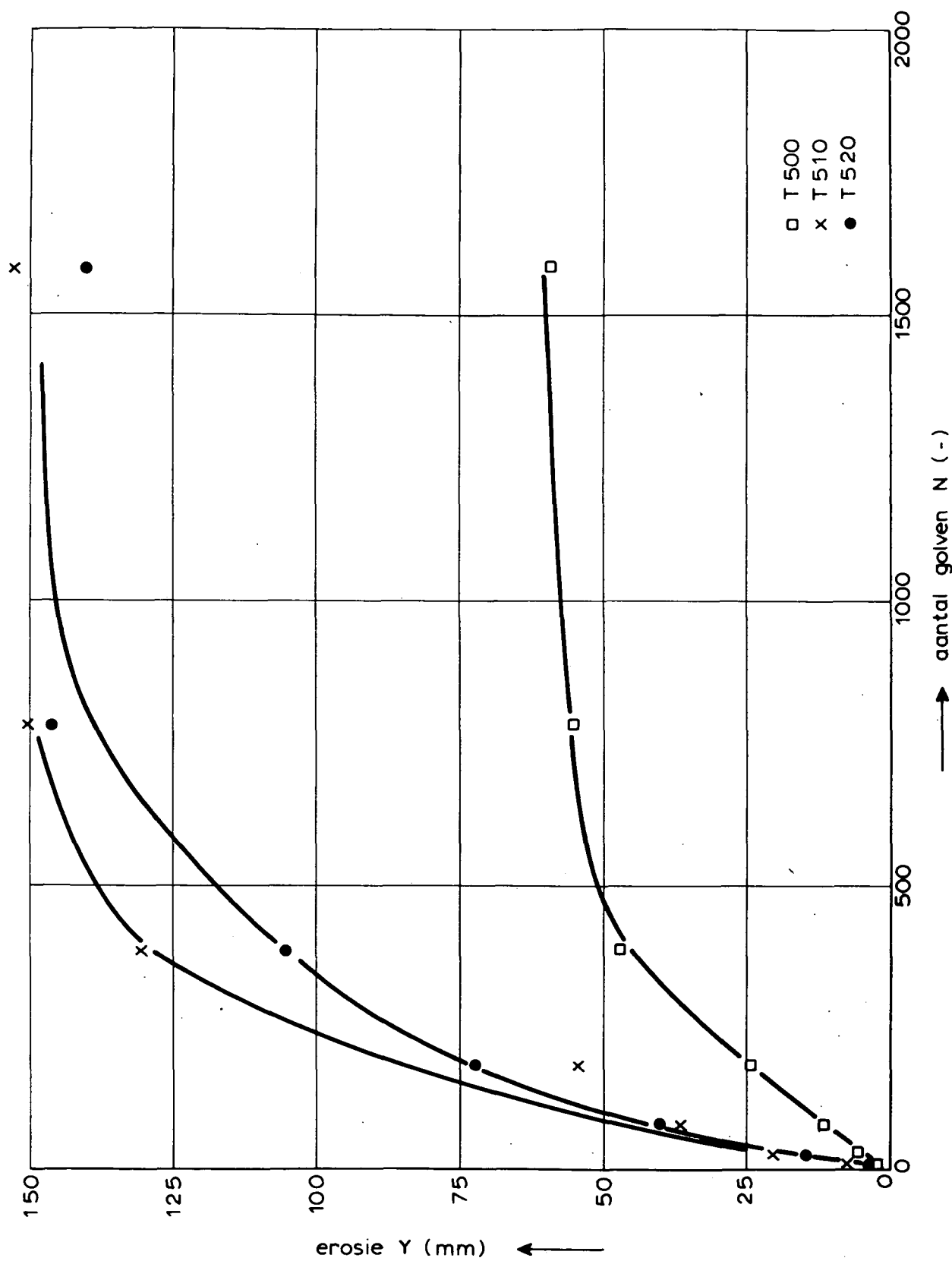
G=150mm

T 500... T 526

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 16



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

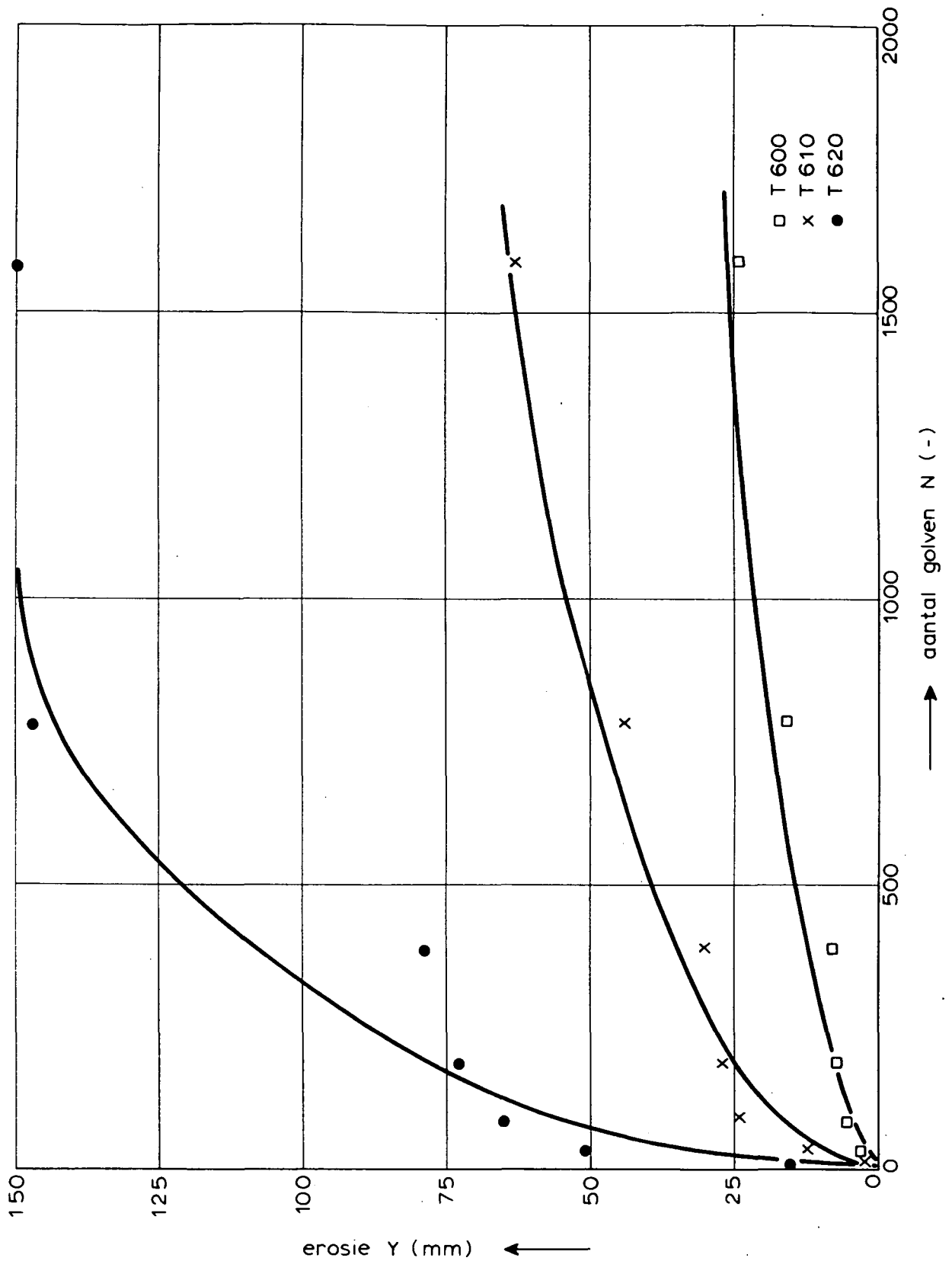
GAT 10 G = 150mm

T 500 ... T 526

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 17



EROSIE ALS FUNKTIE VAN GOLFHOOGTE
EN AANTAL GOLVEN

GAT 9

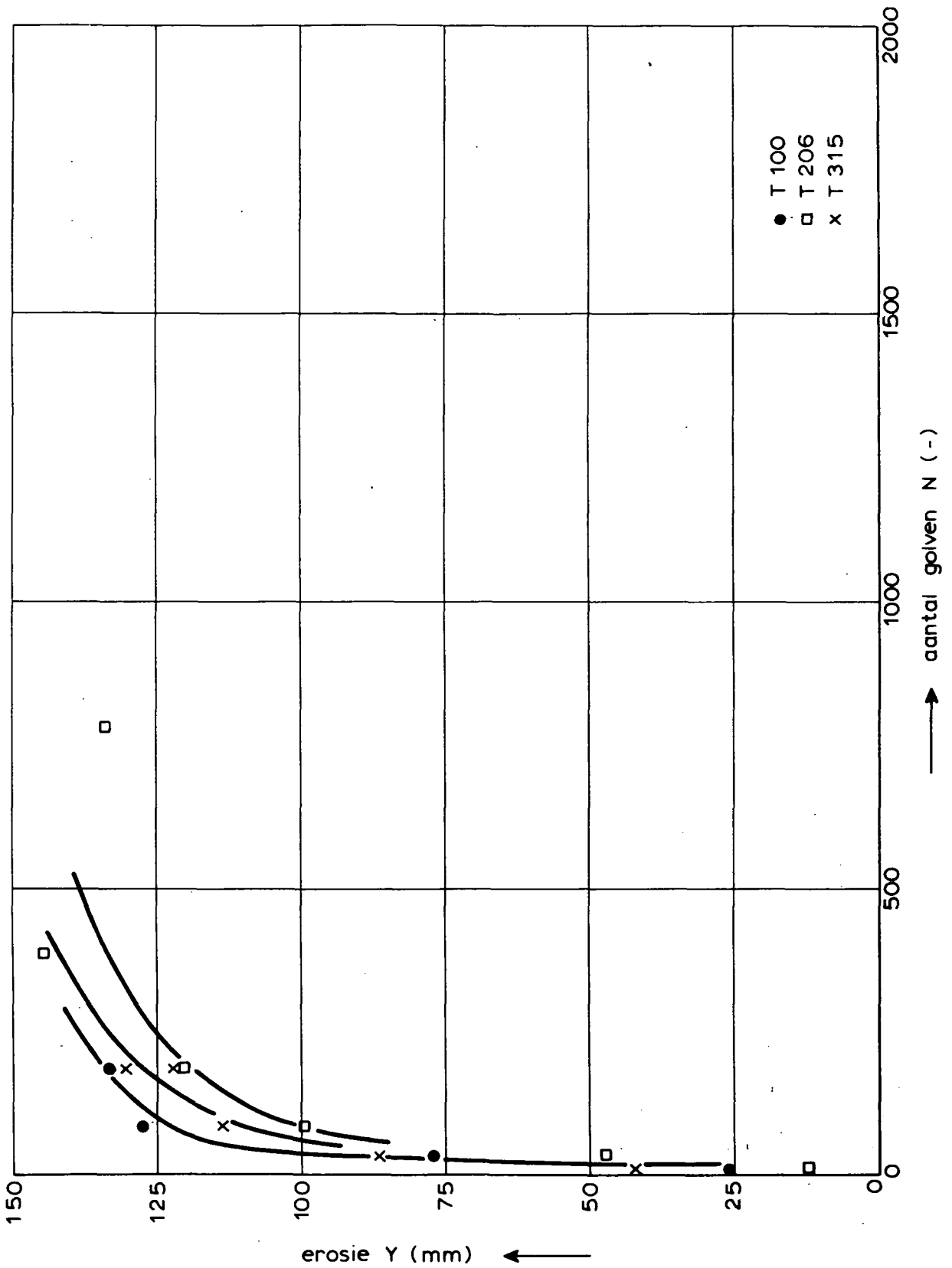
G = 120 mm

T 600... T 626

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 18



INVLOED GATGROOTTE G

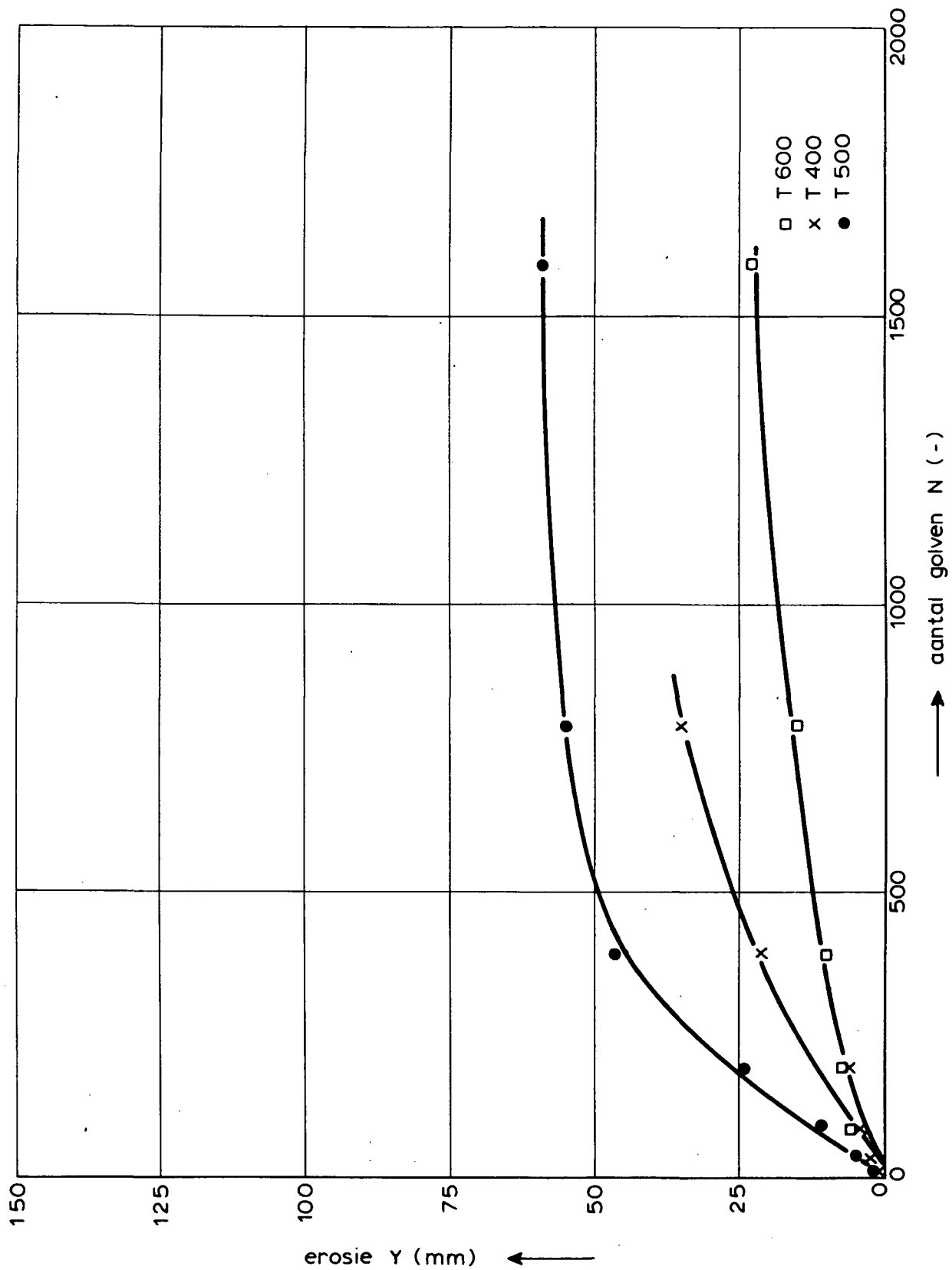
H=0,13 m

ZAND, GAT 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 19



INVLOED GATGROOTTE G

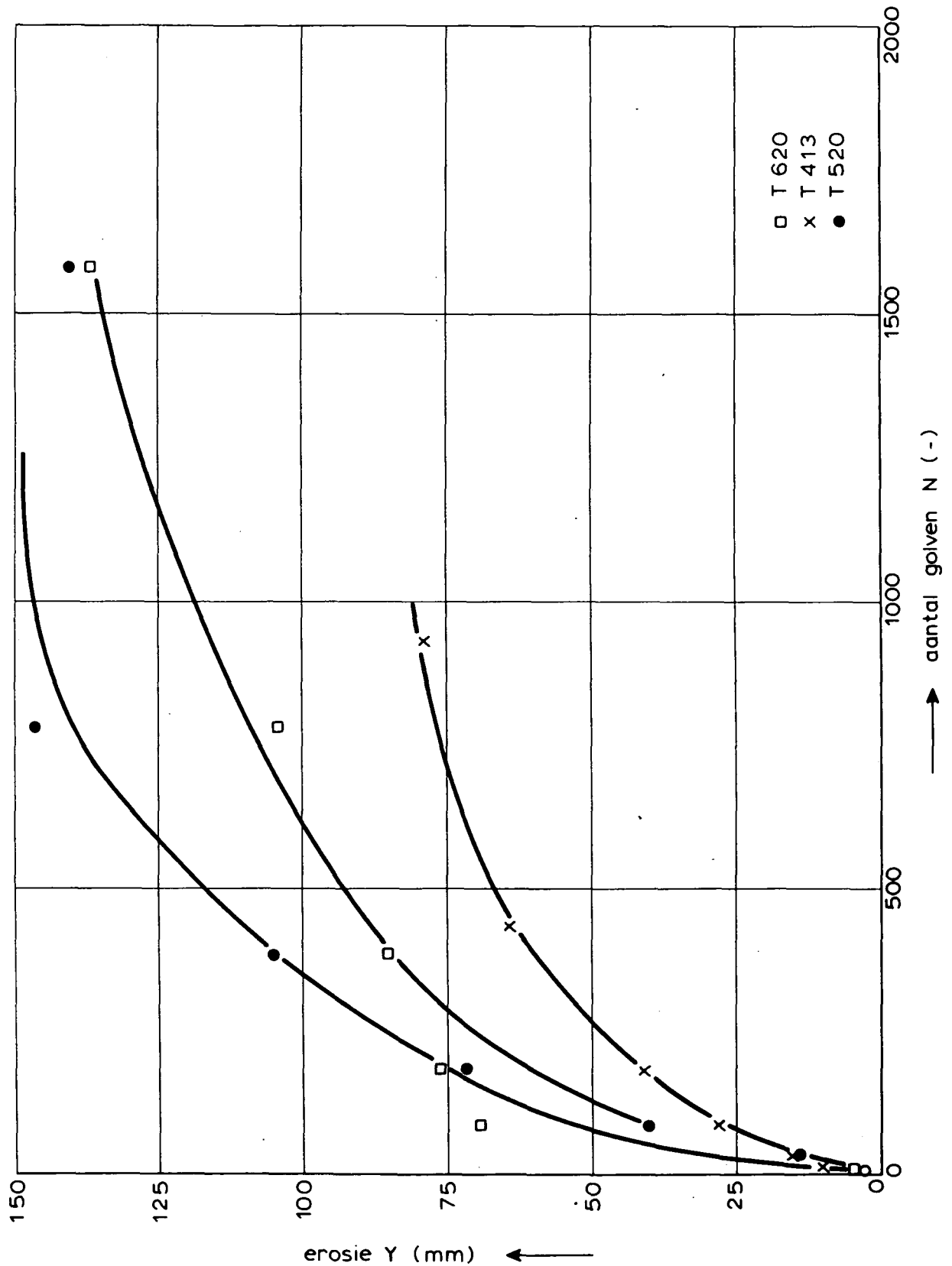
H=0,06 m

GROND, GAT 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 20



INVLOED GATGROOTTE G

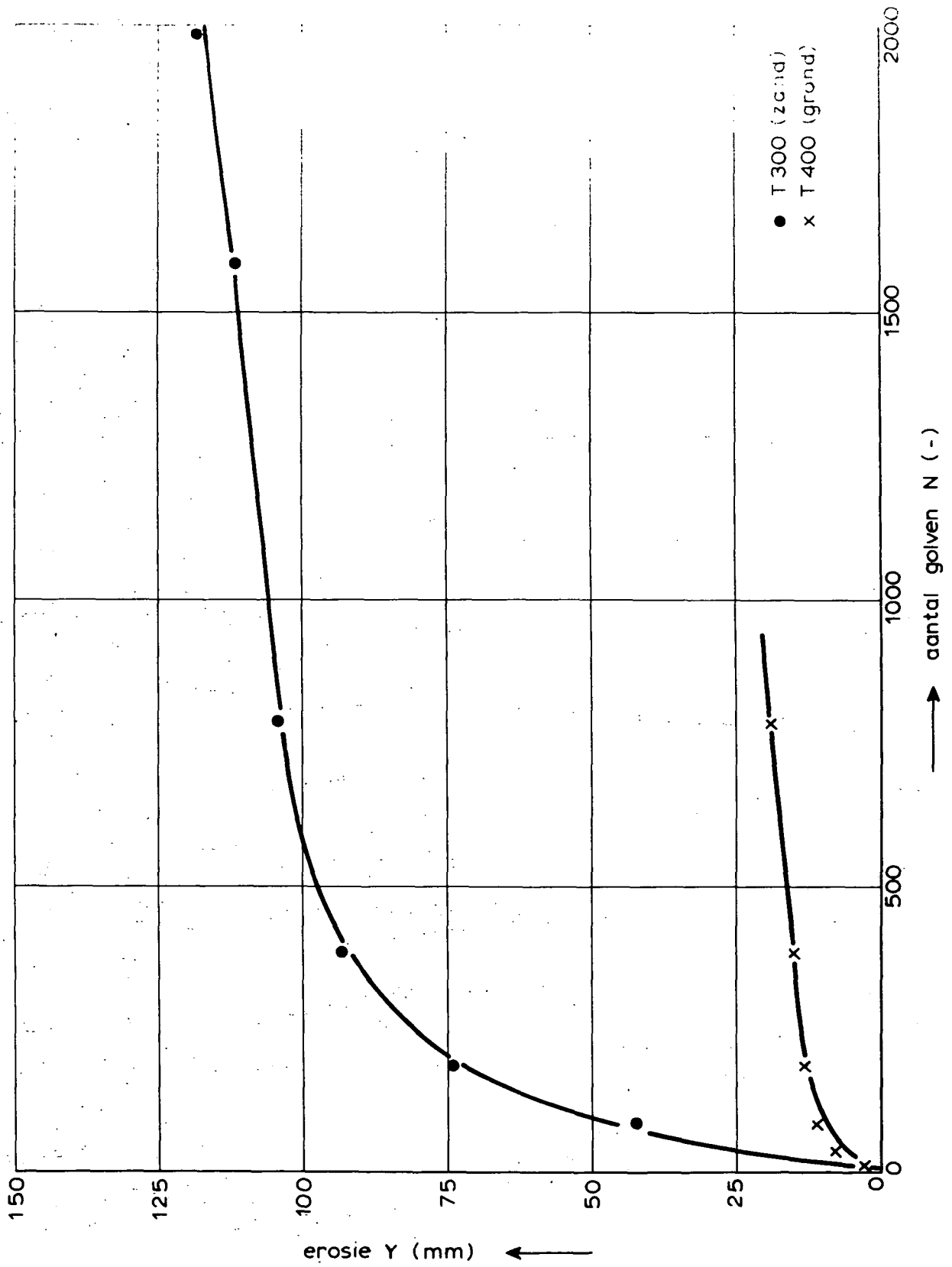
H=0,17 m

GROND, GAT 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 21



INVLOED GATVULLING

H=0,06 m

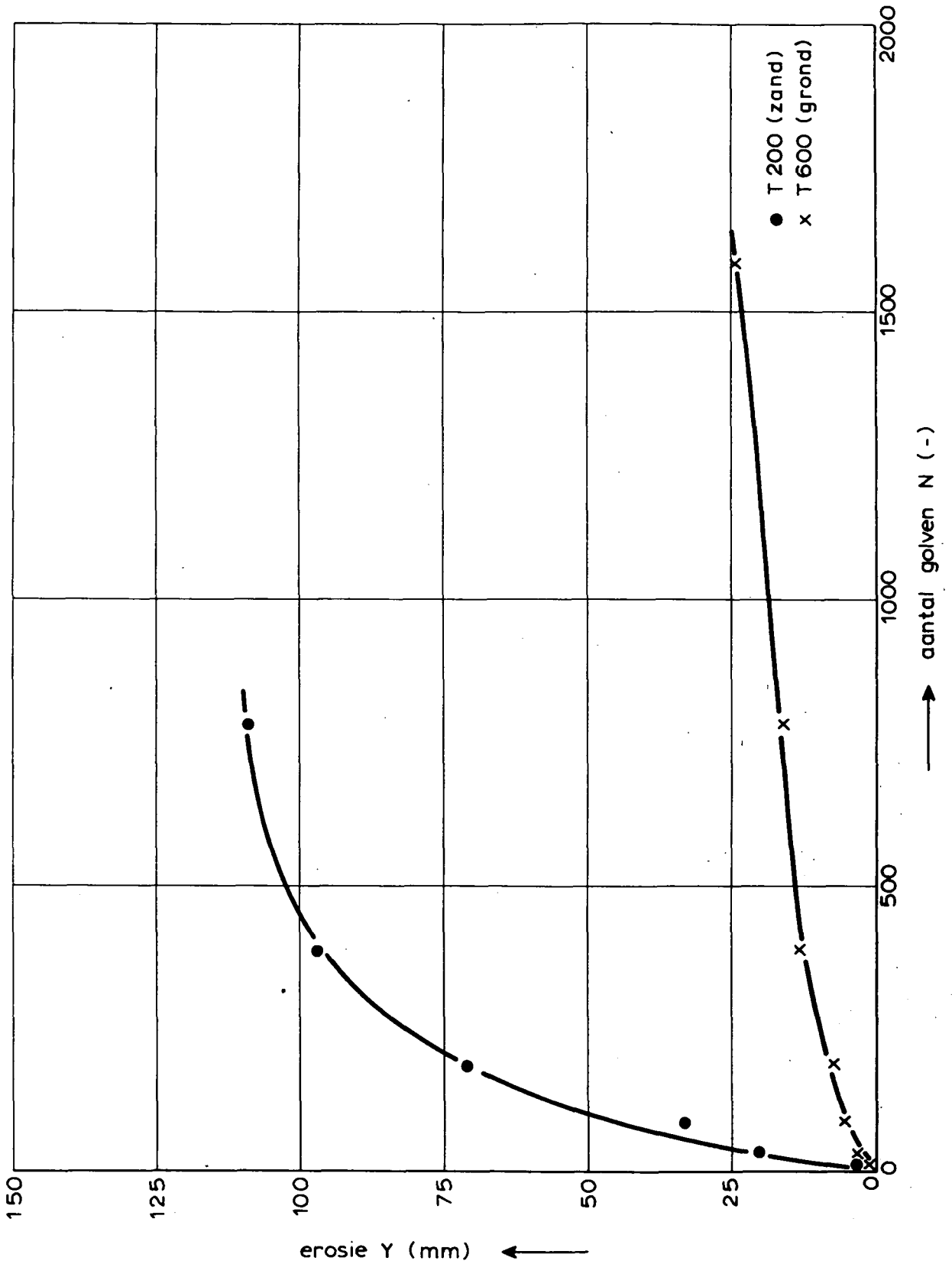
G=80mm

GAT 9

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 22



INVLOED GATVULLING

H=0,06

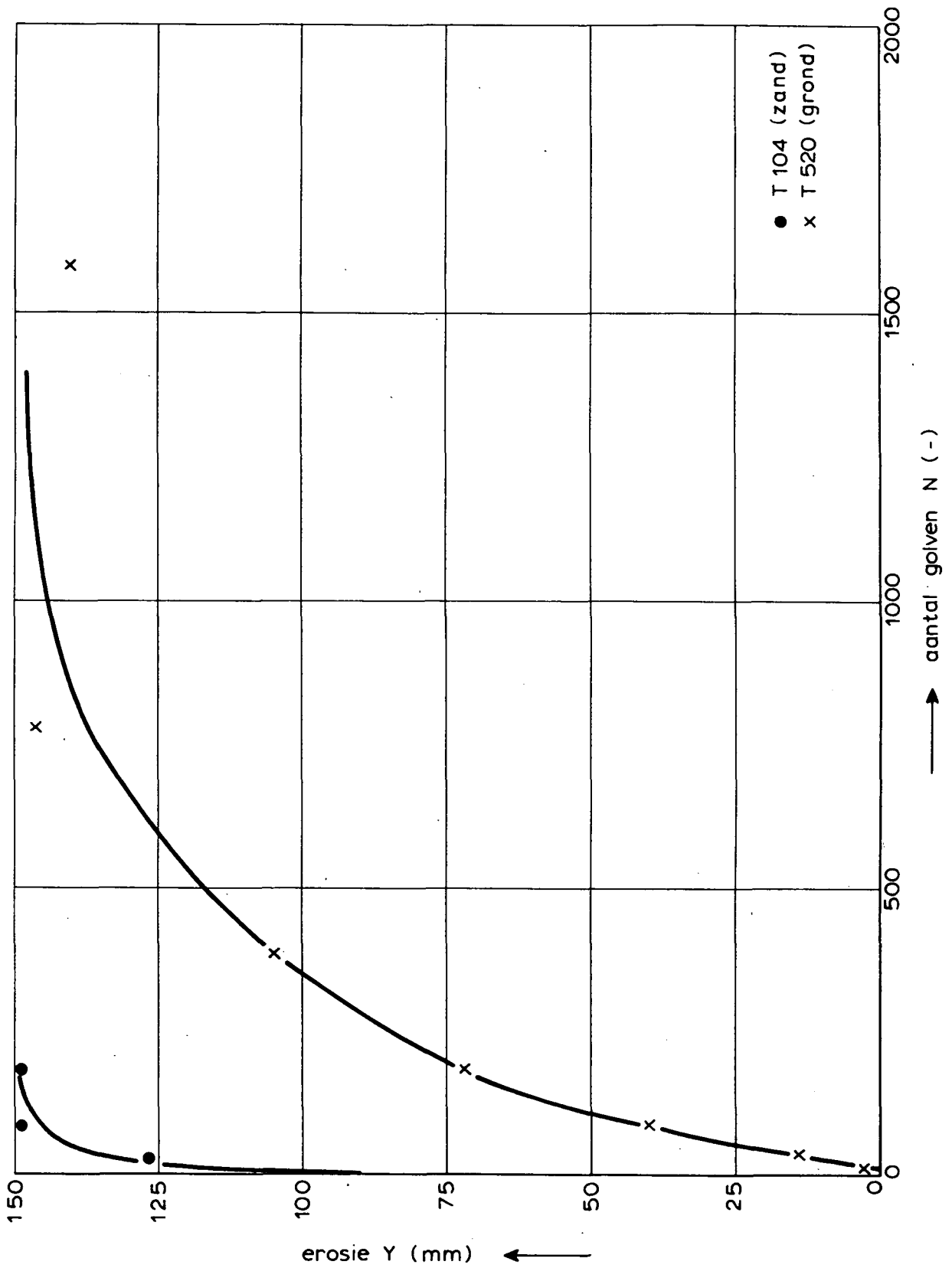
G=120mm

GAT 9

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 23



INVLOED GATVULLING

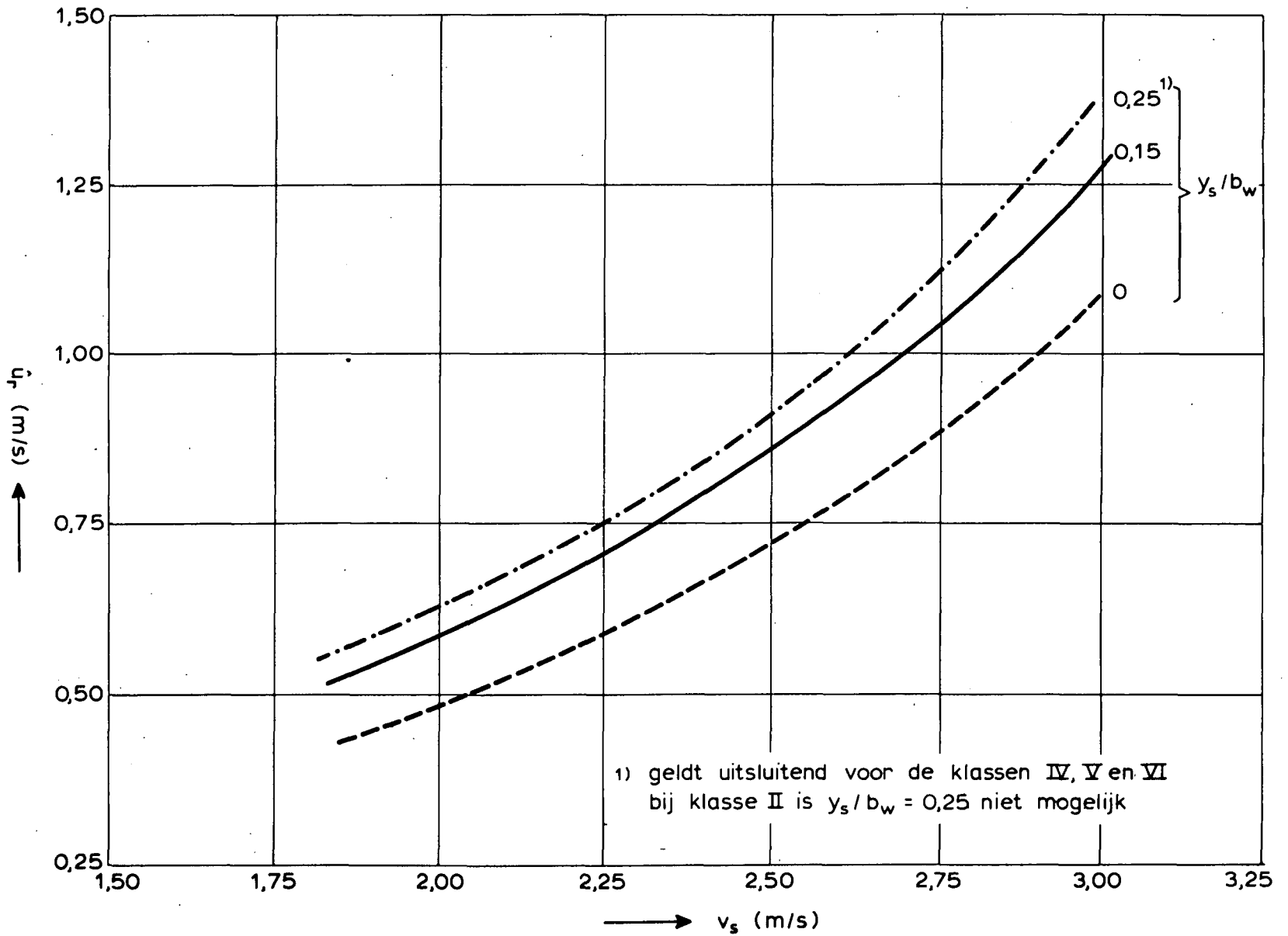
H = 0,17m G = 150mm

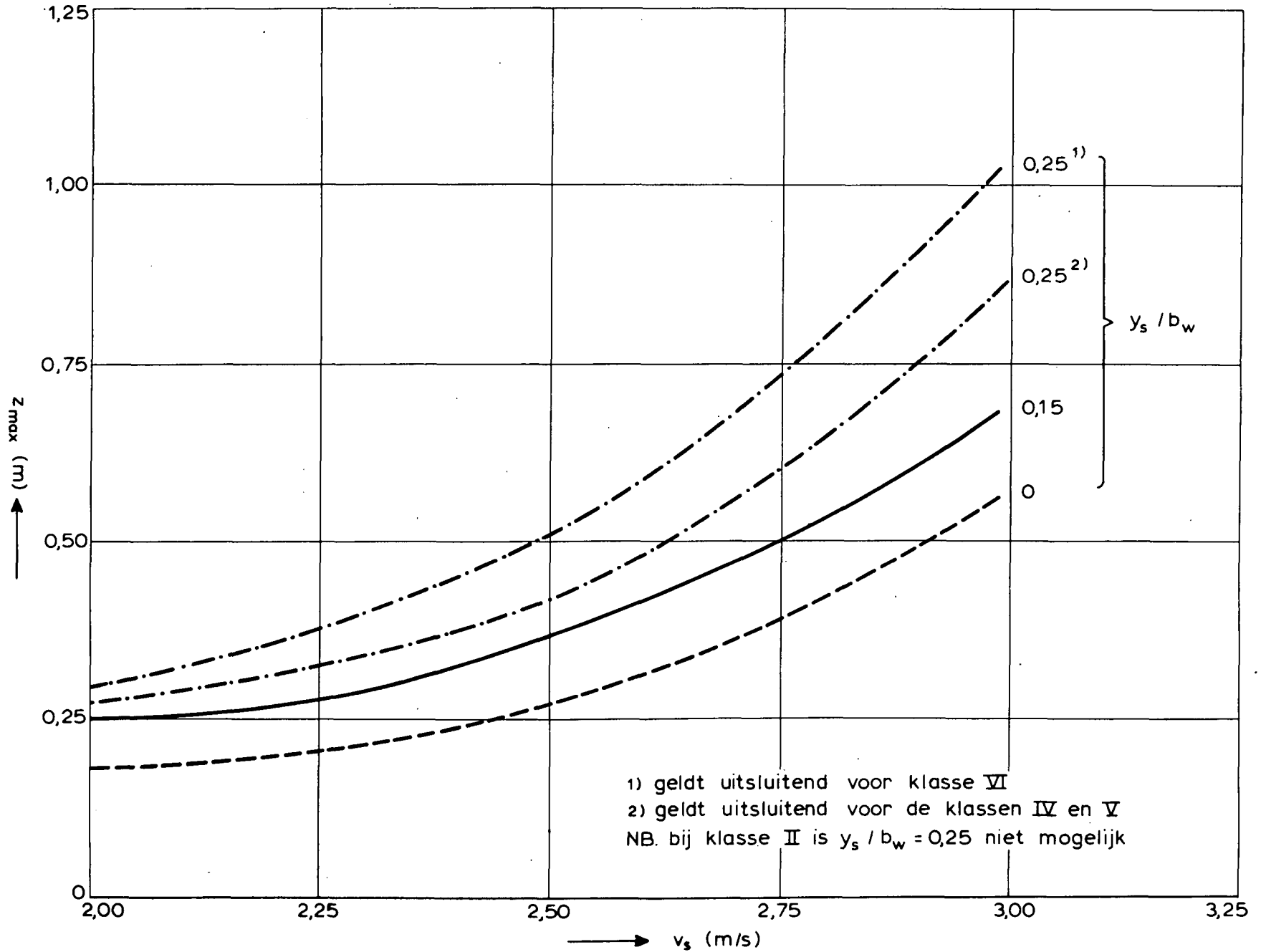
GAT 10

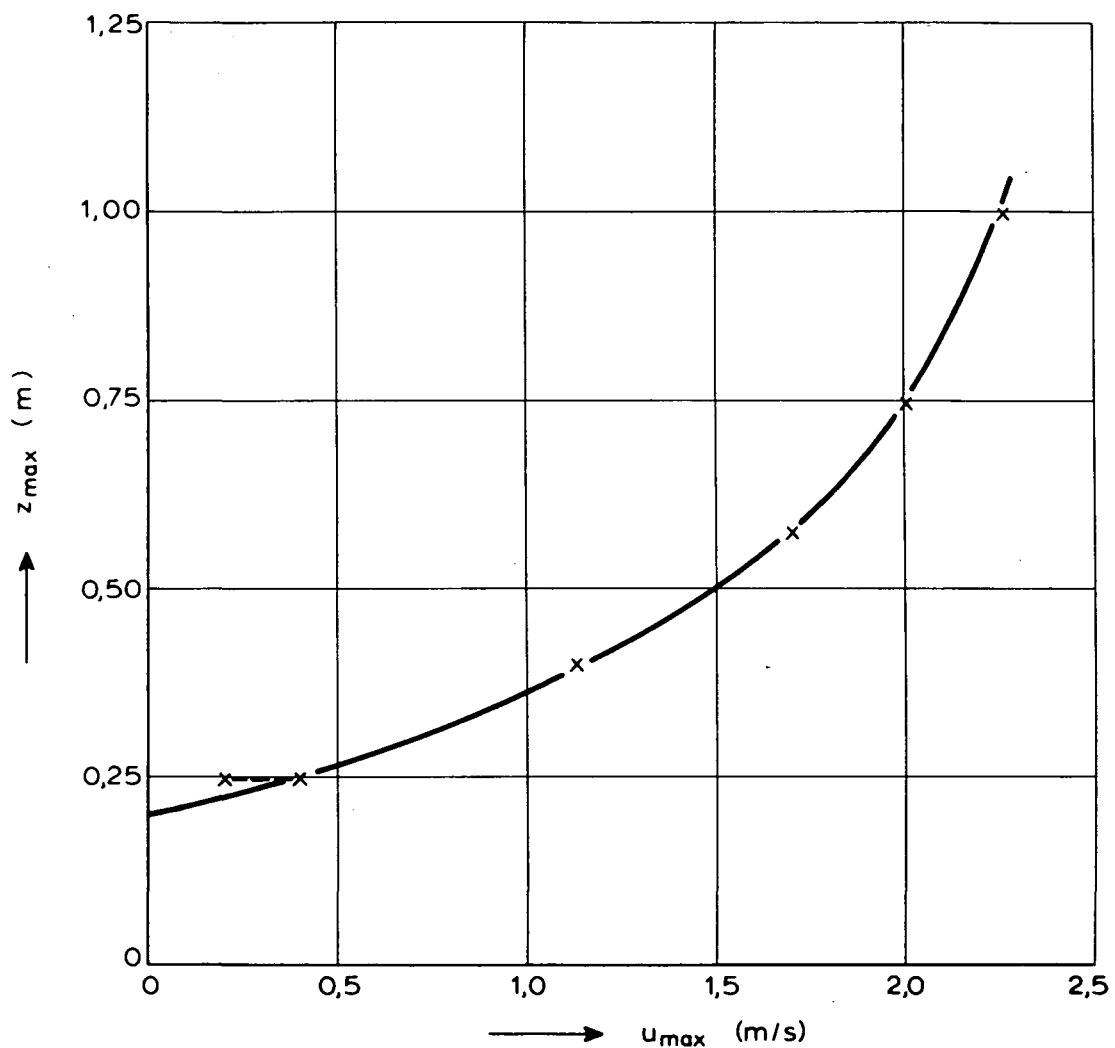
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 24







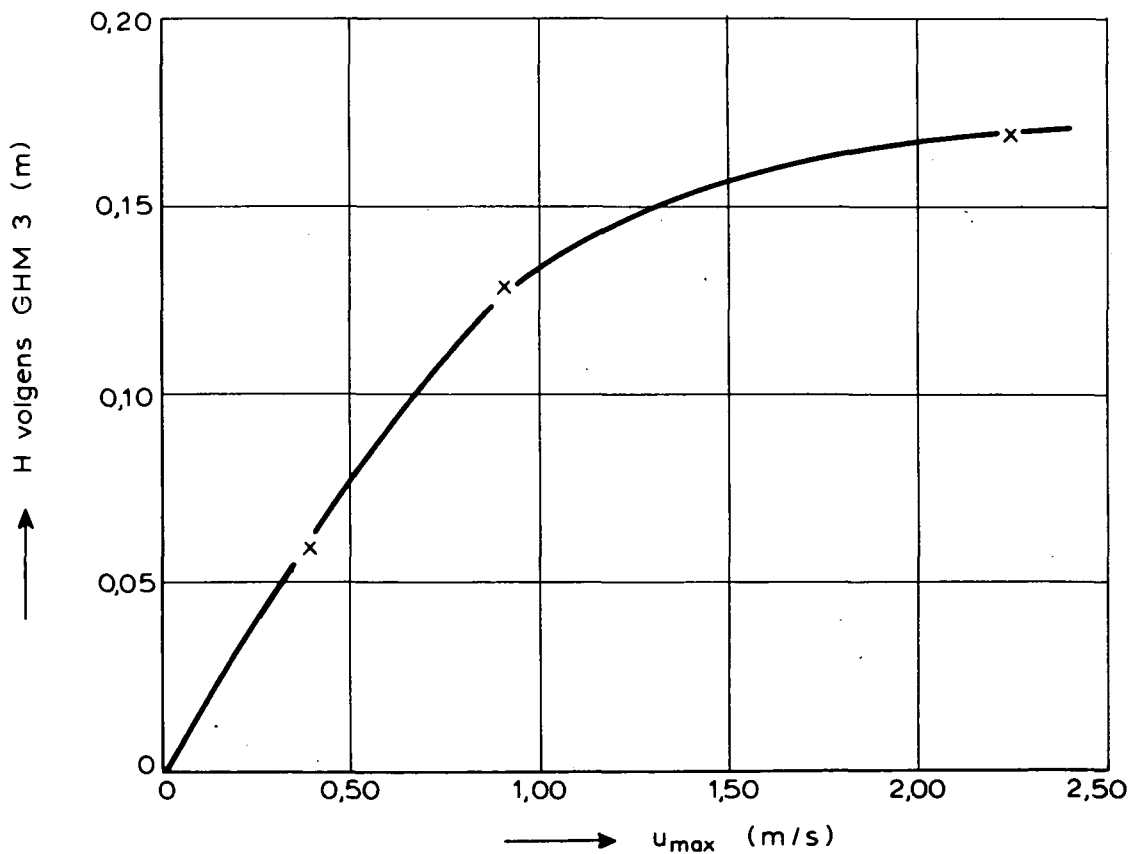
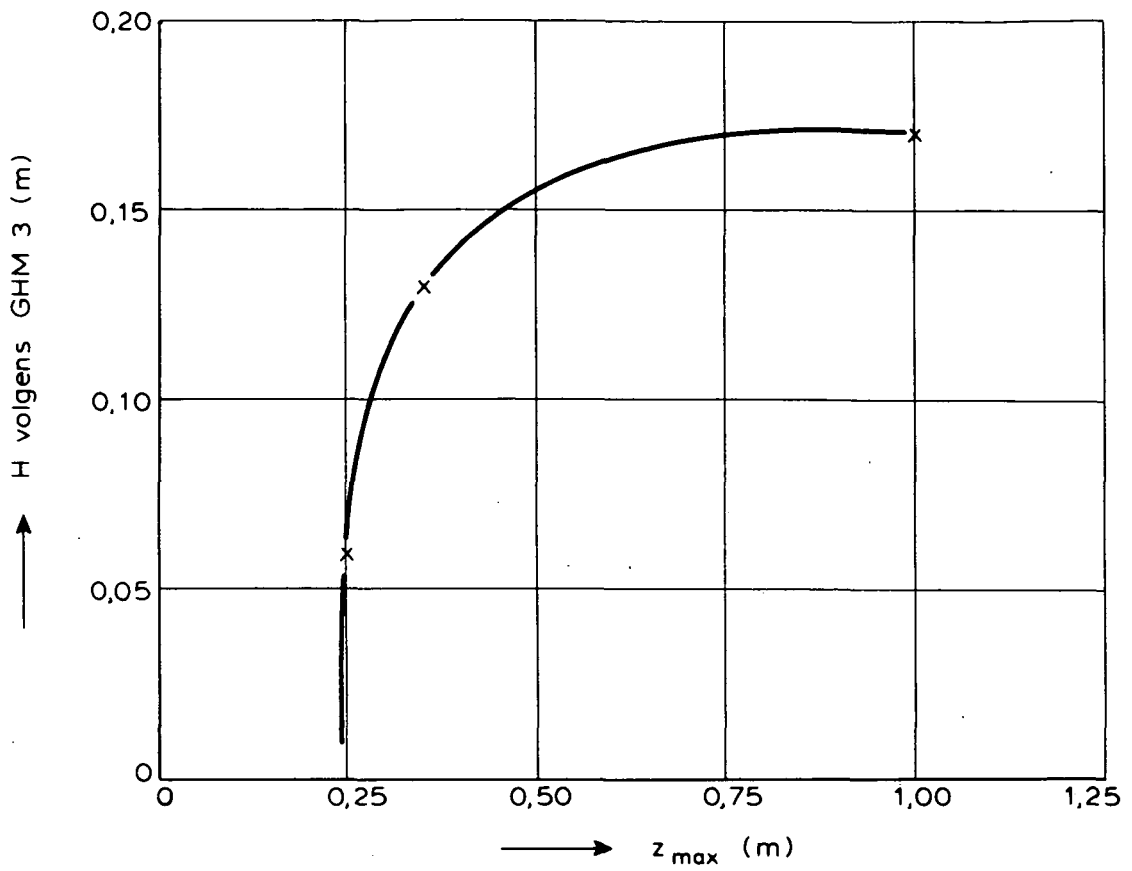
NB: Het gepresenteerde verband is een benadering en is bepaald voor $z_{max} > 0.25m$ met $z_{max} = \Delta \cdot D$ waarbij $\Delta = 1.65$ en $D = 0.15m$

VERBAND TUSSEN z_{max} EN u_{max}

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

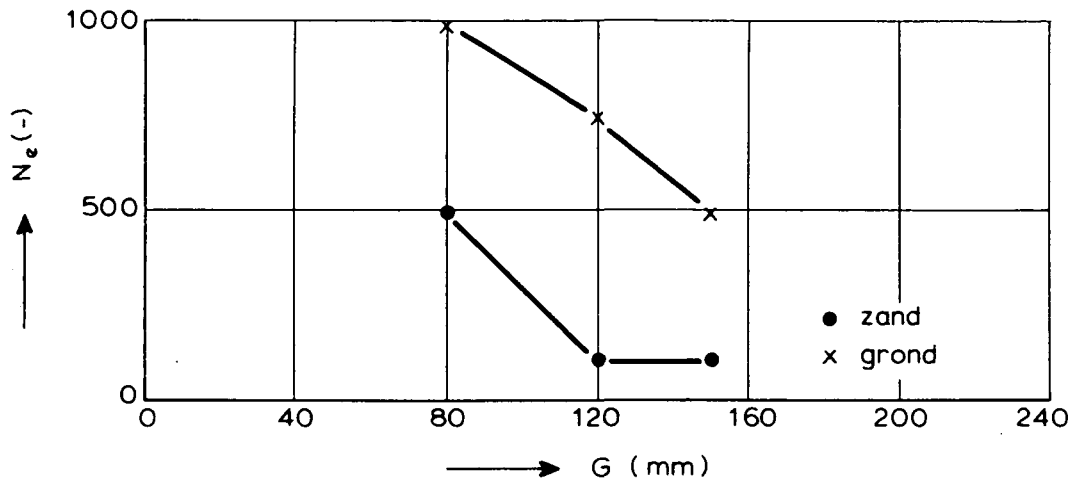
H 657

FIG. 27

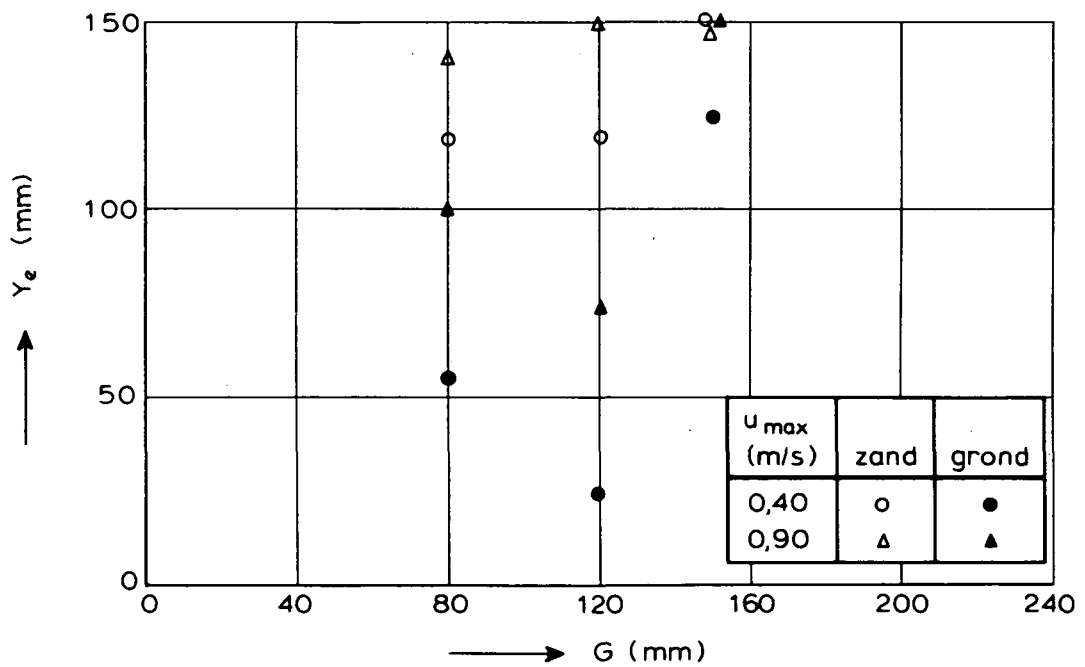


VERTALING VAN H NAAR z_{max} EN u_{max}

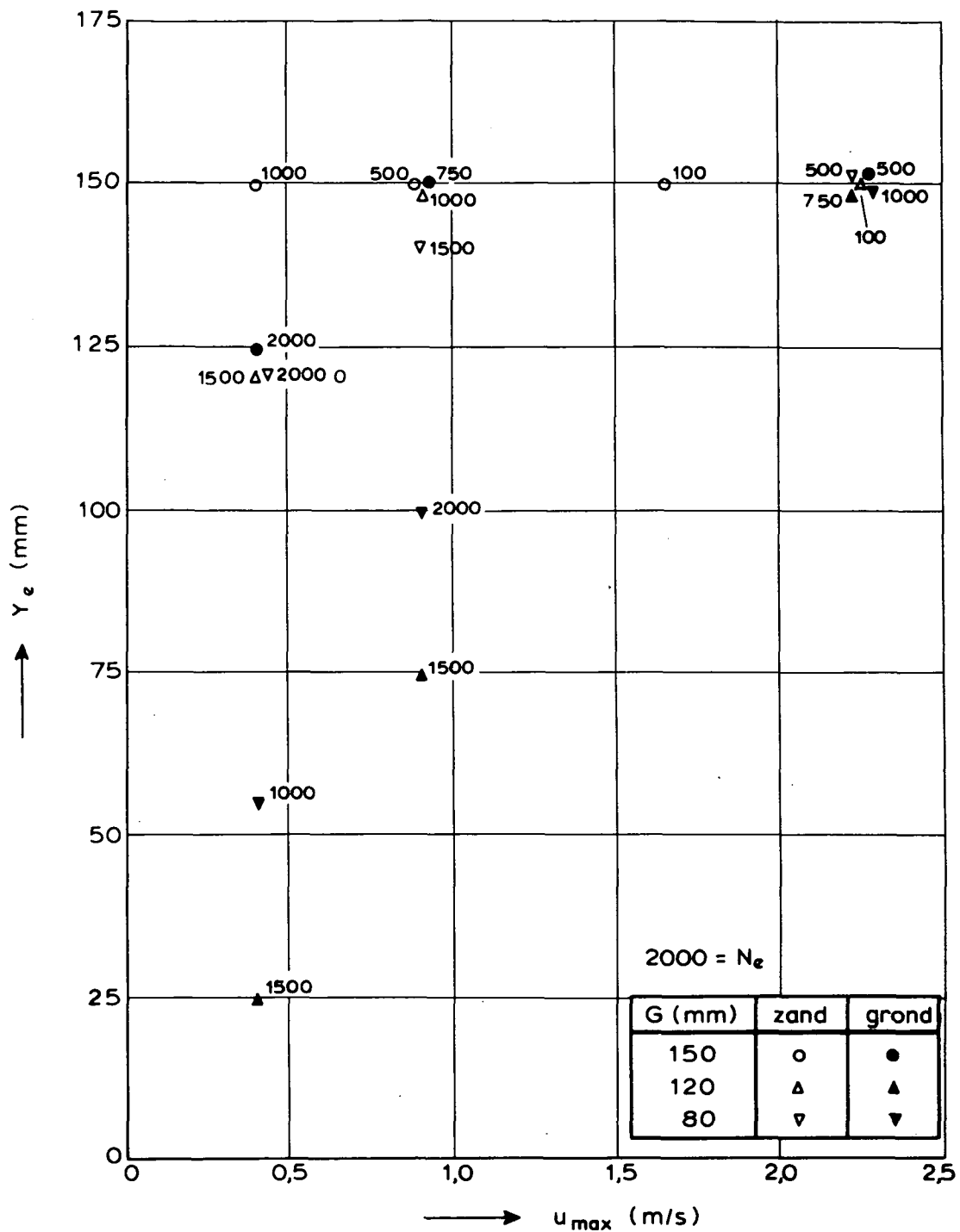
N_e als functie van G voor $u_{max} = 2,25$ m/s



Y_e als functie van G voor $u_{max} = 0,40$ en $0,90$ m/s

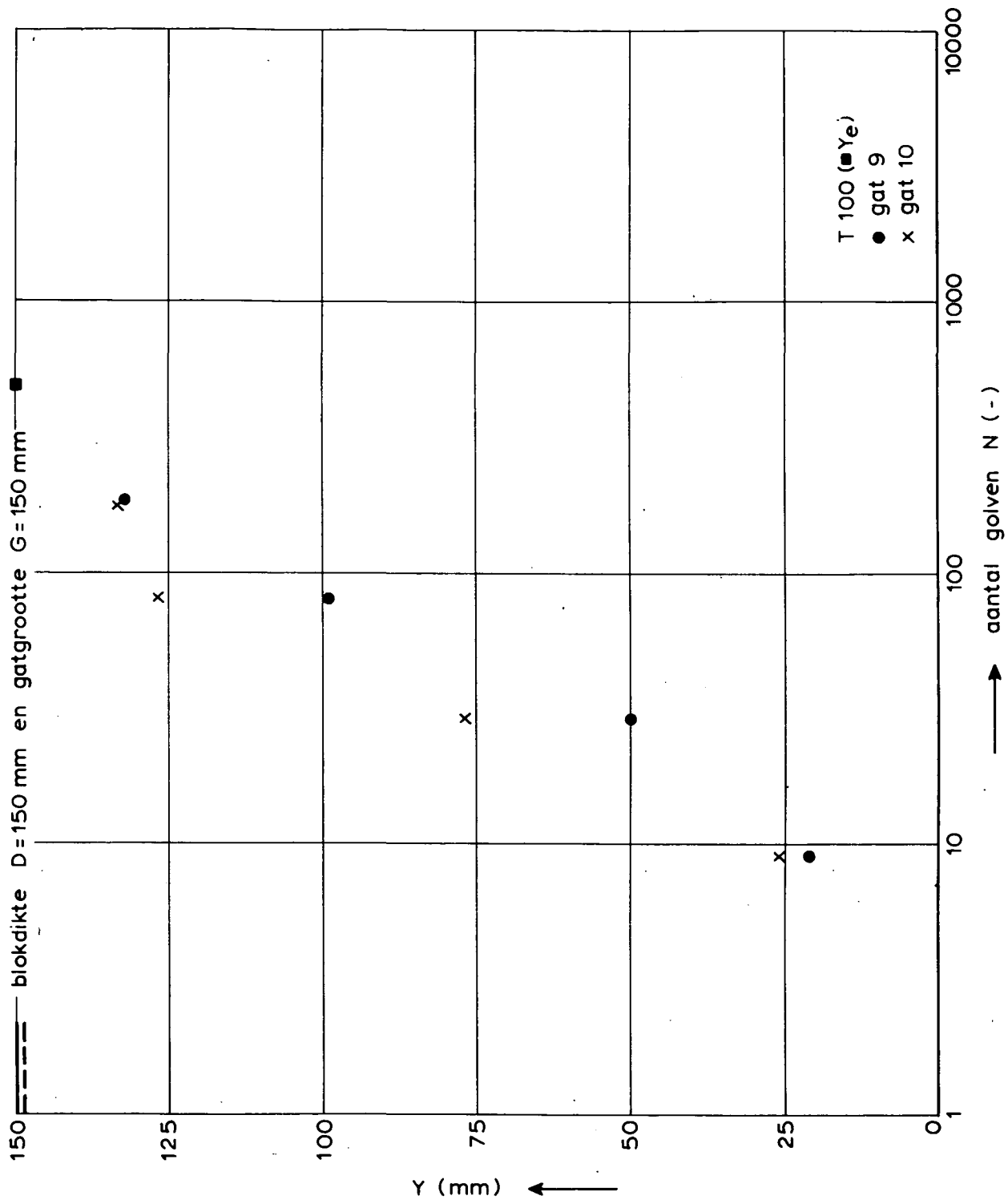


Y_e EN N_e ALS FUNKTIE VAN G



H (m)	u_{max} (m/s)	z_{max} (m)
0,06	0,40	0,25
0,13	0,90	0,35
0,17	2,25	1,00
(0,16)	(1,65)	(0,55)

Y_e ALS FUNKTIE VAN DE WATERBEWEGING



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
 EN AANTAL GOLVEN

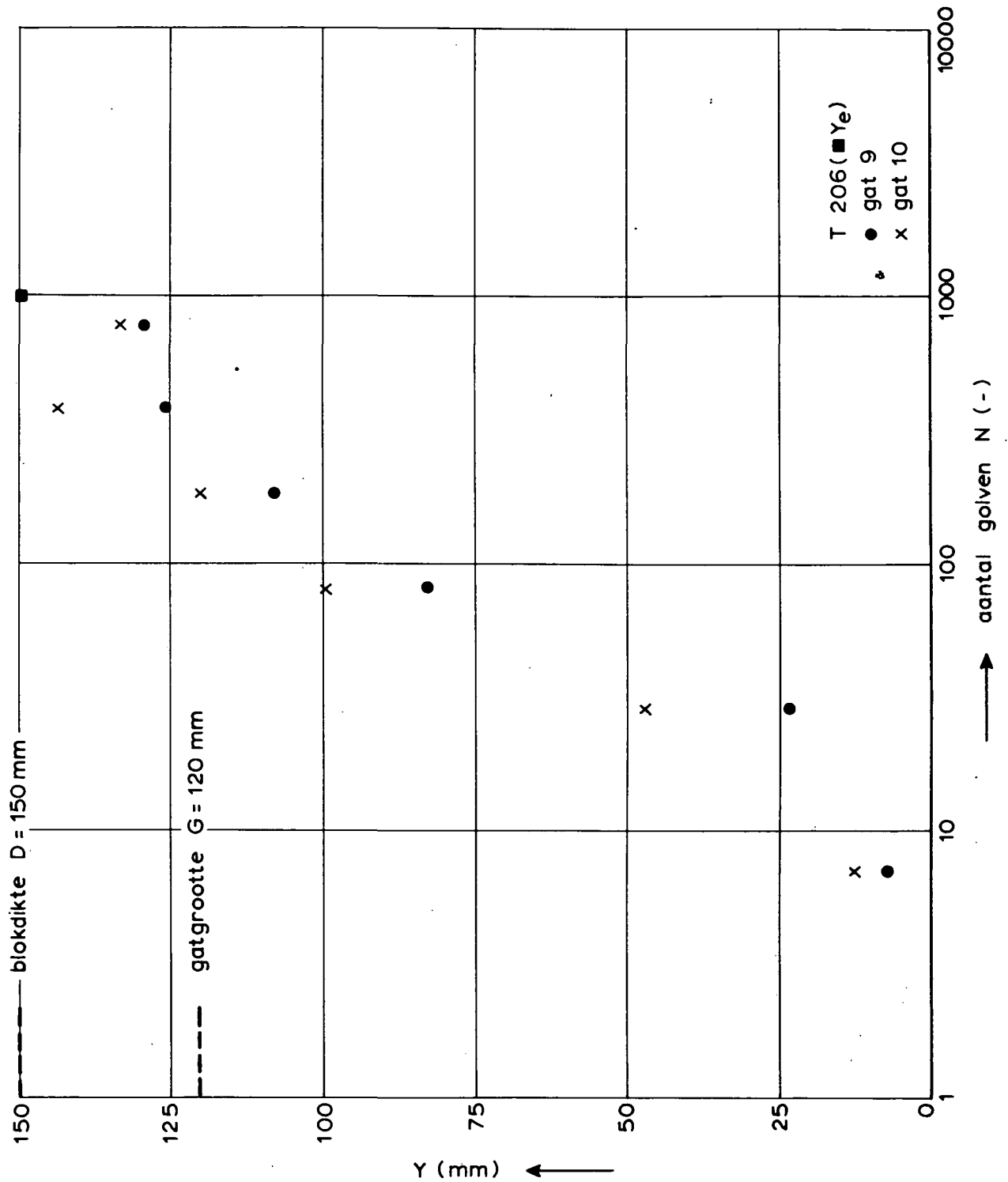
Zand

$u_{max} = 0,90 \text{ m/s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 31



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
 EN AANTAL GOLVEN

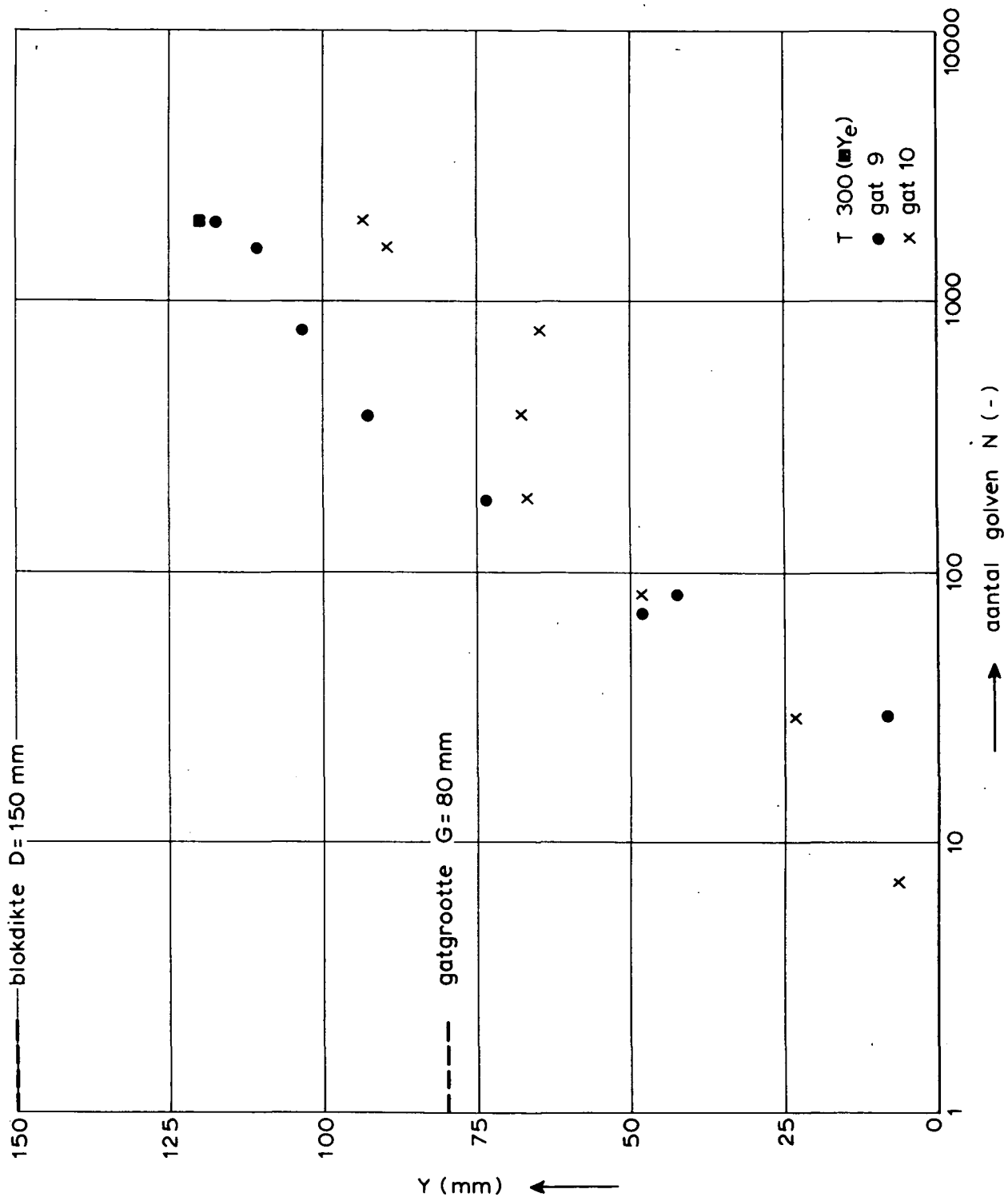
Zand

$u_{max} = 0,90$ m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 32



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
 EN AANTAL GOLVEN

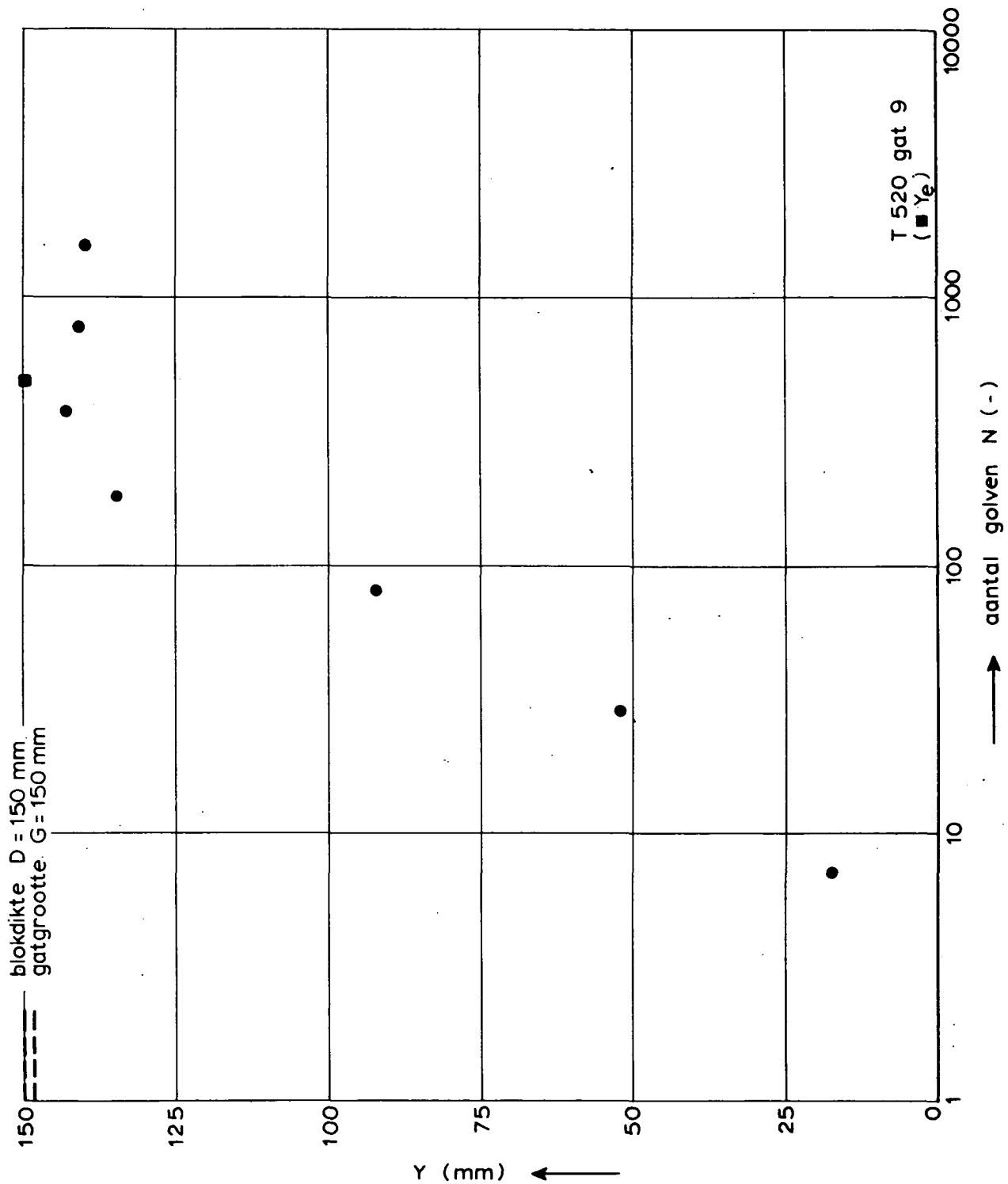
Zand

$u_{max} = 0,40$ m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 33



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
EN AANTAL GOLVEN

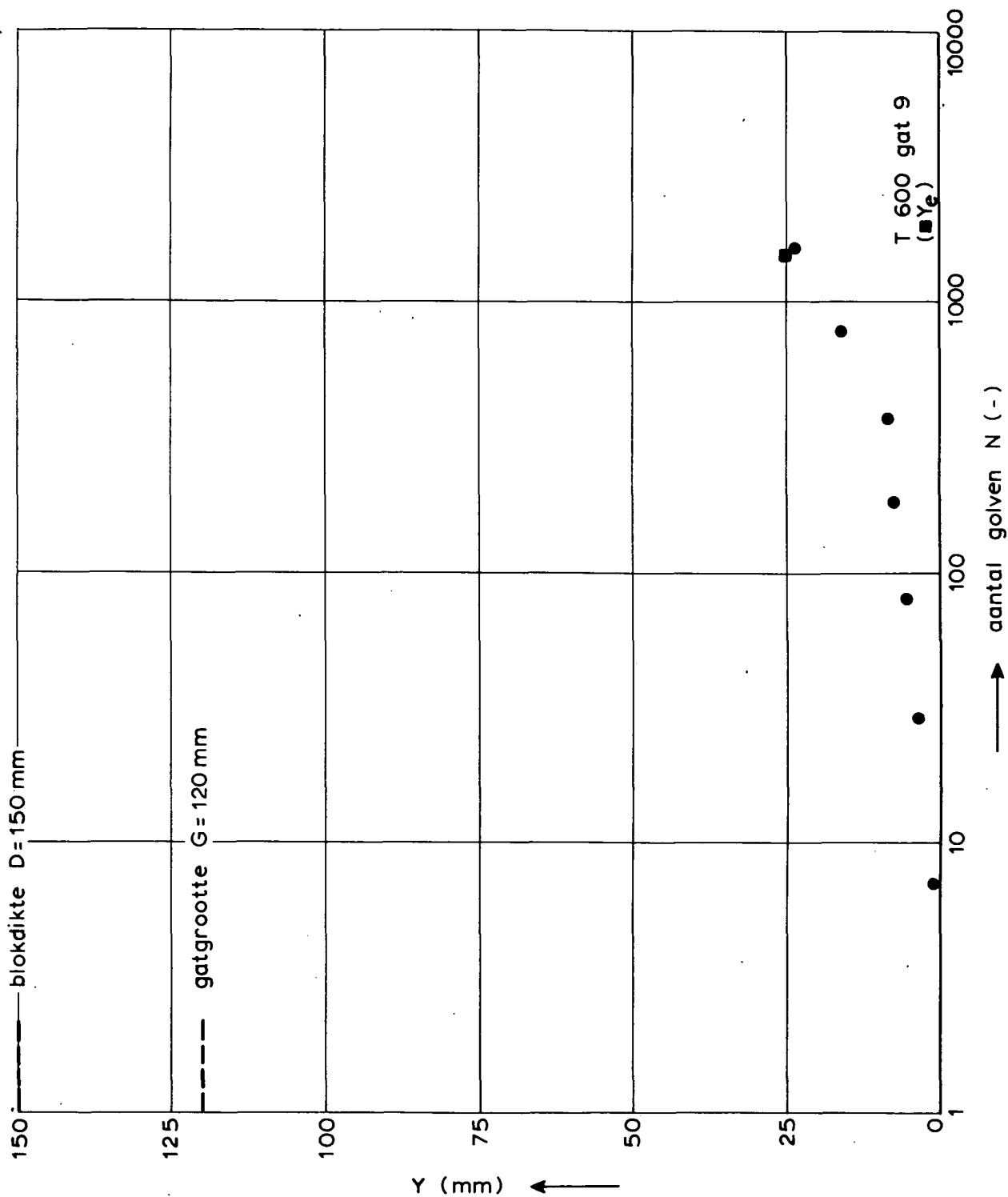
Grond

$u_{max} = 2,25$ m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 34



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
EN AANTAL GOLVEN

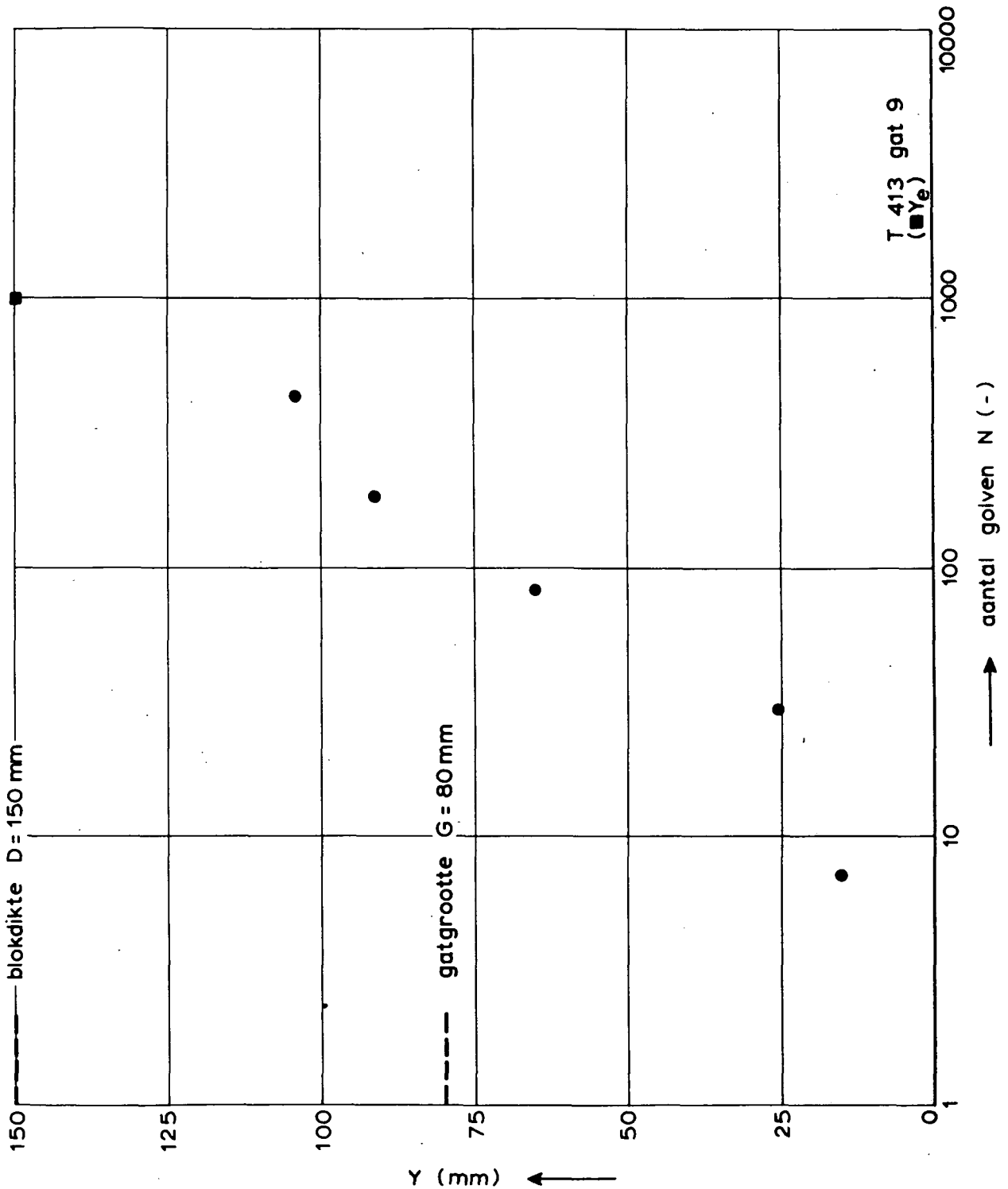
Grond

$u_{max} = 0,40$ m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

FIG. 35



SEMILOGARITMISCH VERBAND TUSSEN EROSIE
EN AANTAL GOLVEN

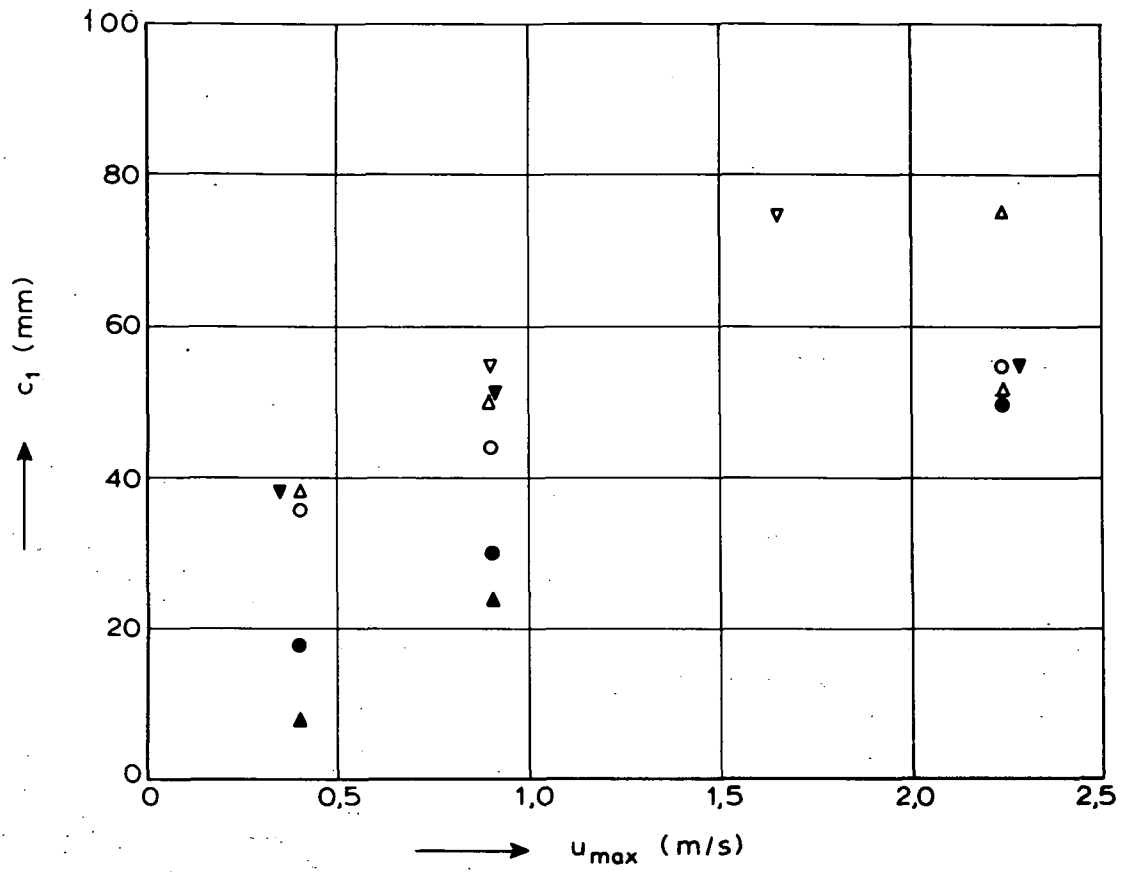
Grond

$u_{max} = 2,25$ m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

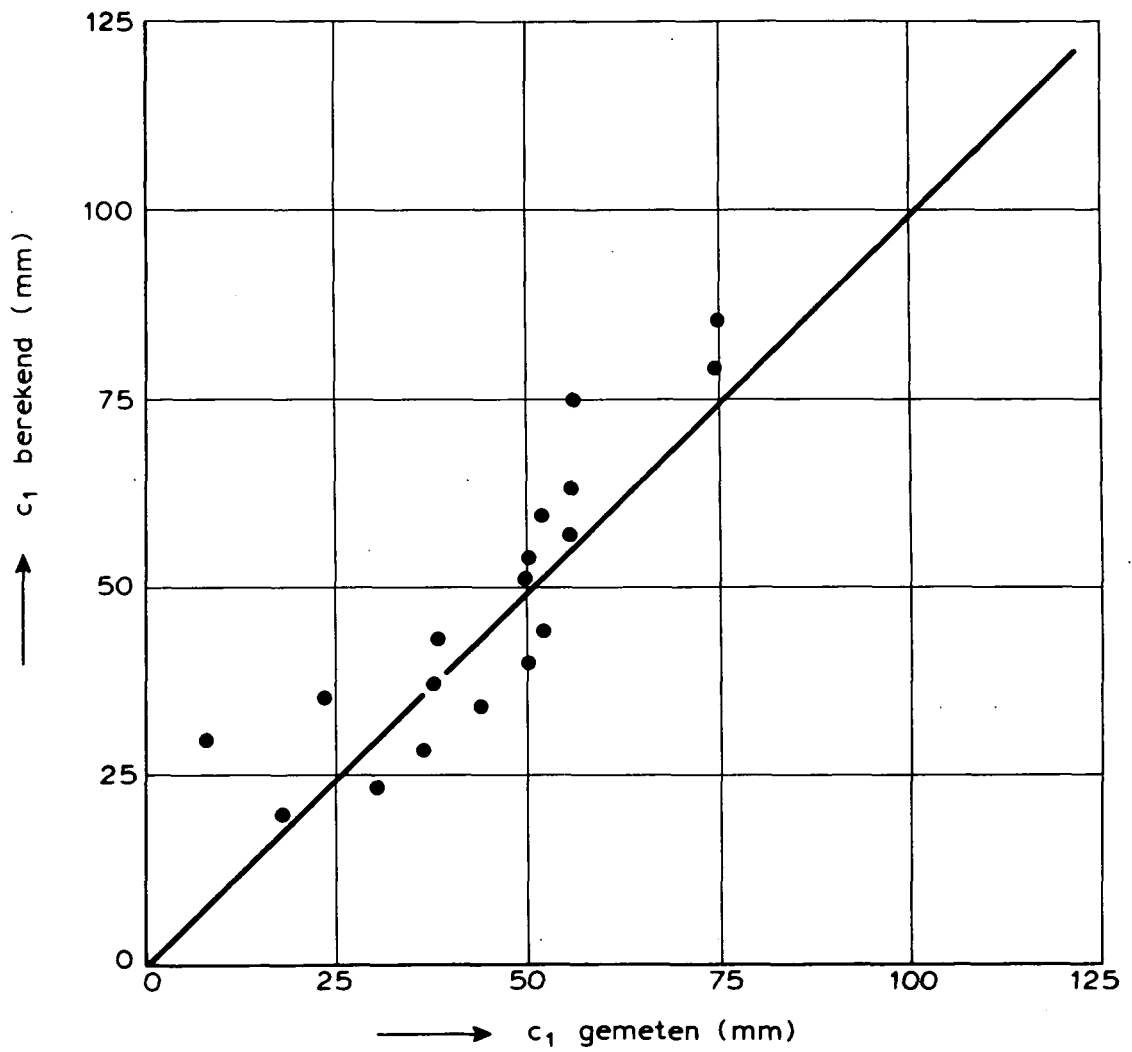
FIG. 36



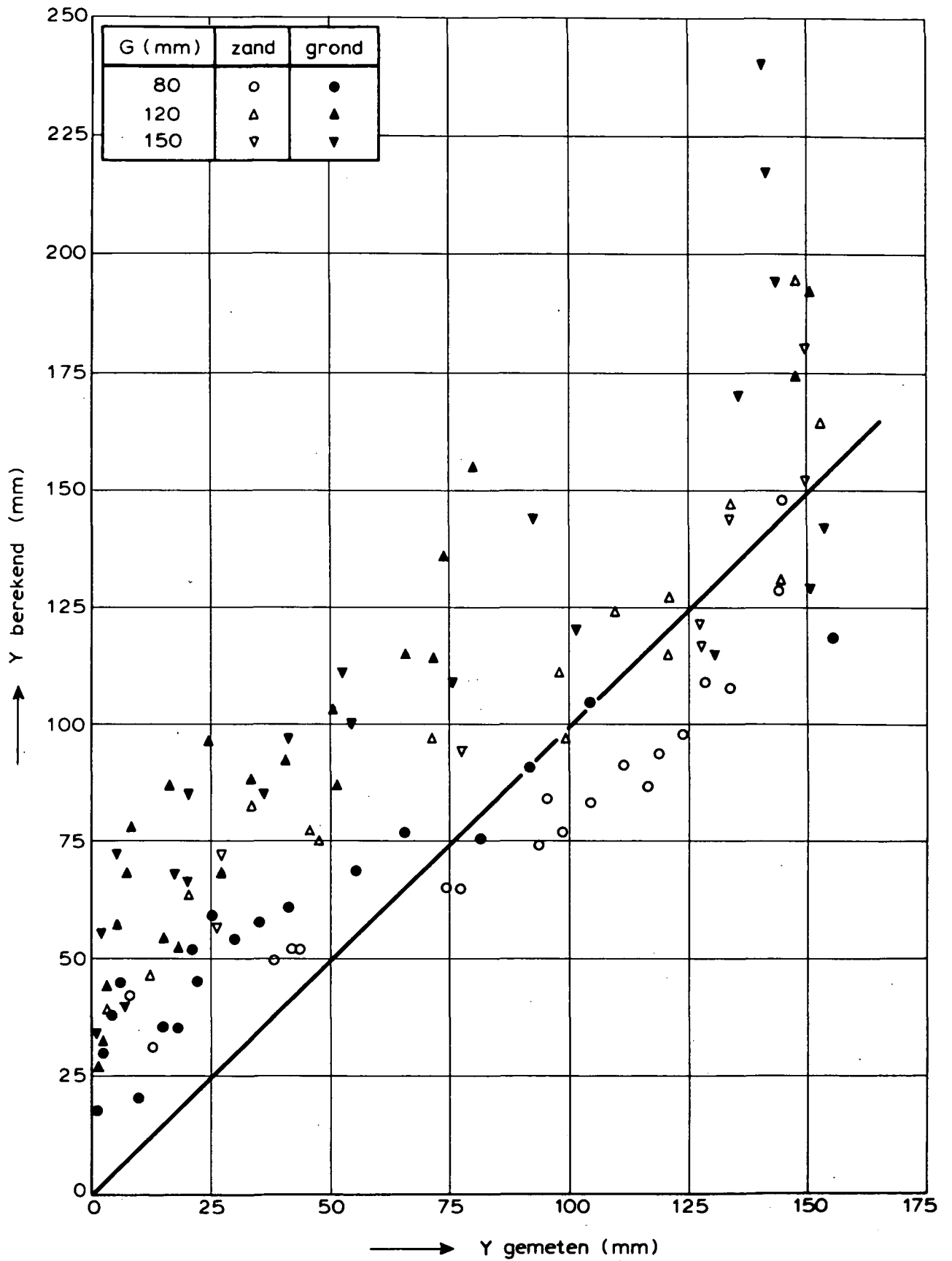
G (mm)	zand	grond
80	○	●
120	△	▲
150	▽	▼

NB. $c_1 = Y_e / \log(N_e + 1)$

VERBAND TUSSEN c_1 , G , u_{max} EN TYPE GROND



TOETSING c₁ - WAARDEN

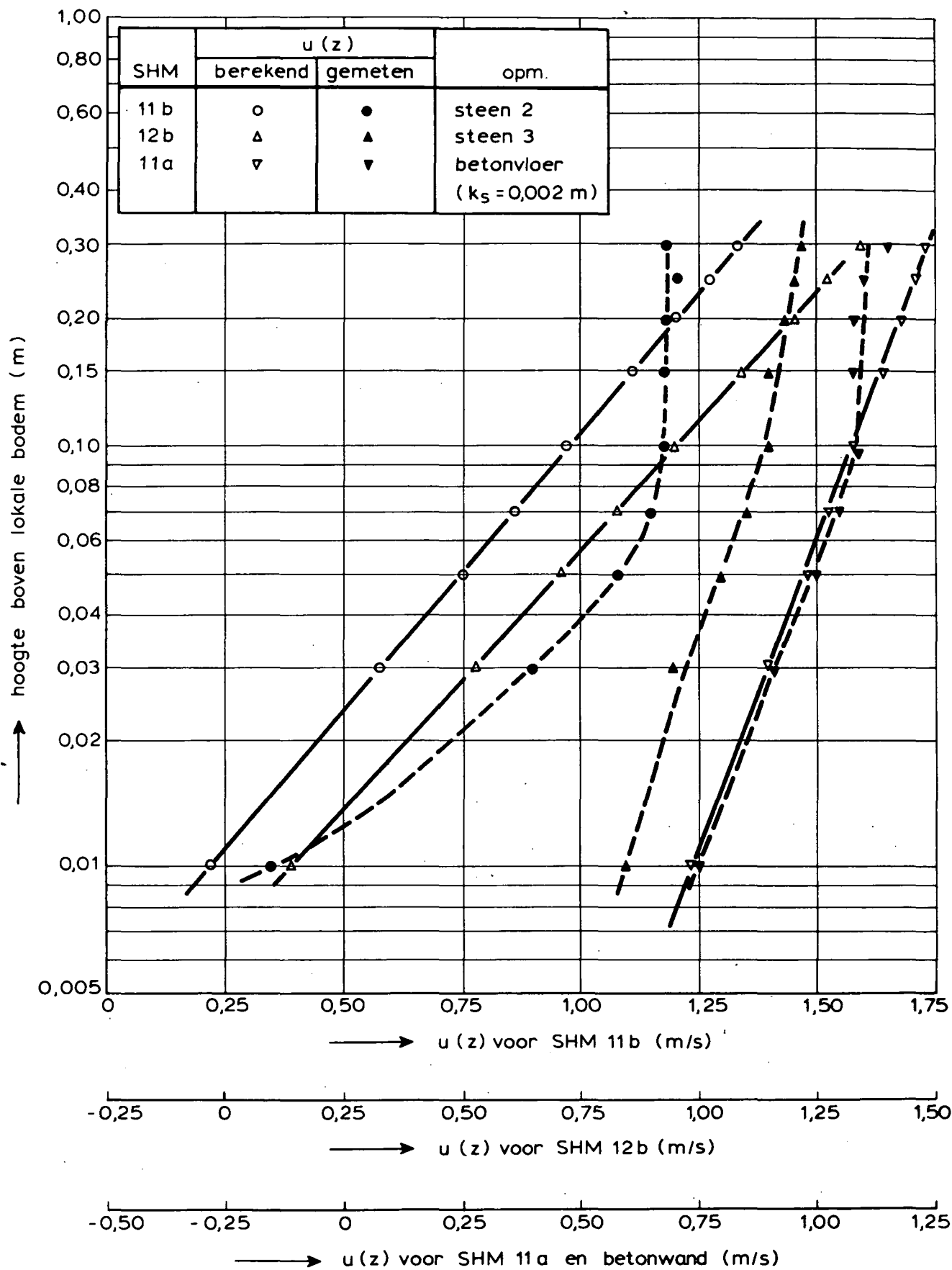


TOETSING EROSIE Y

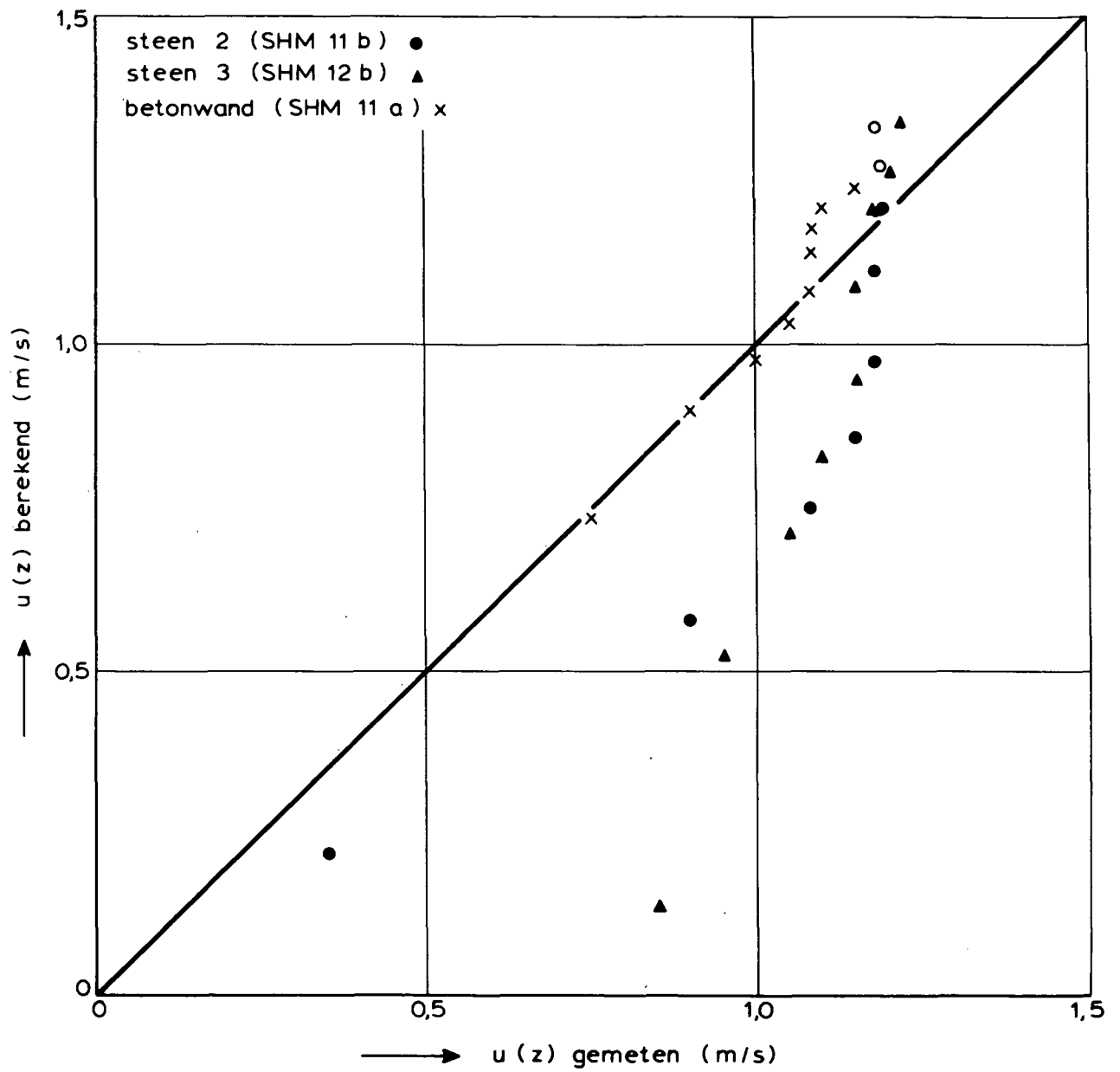
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 657

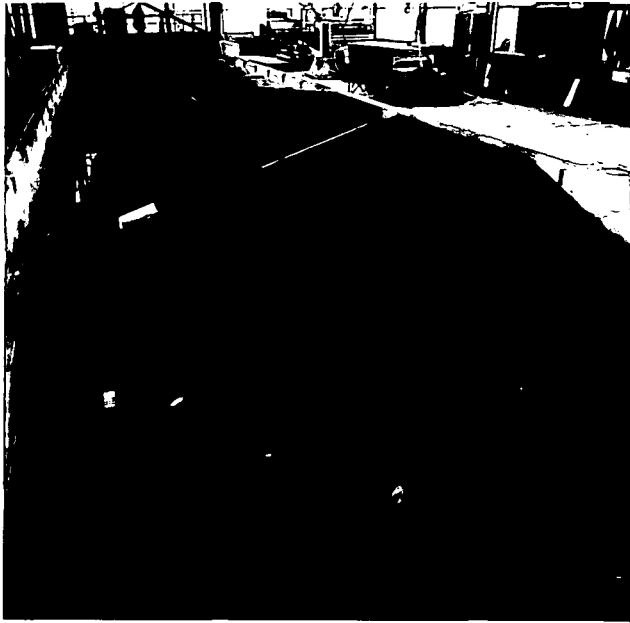
FIG. 39



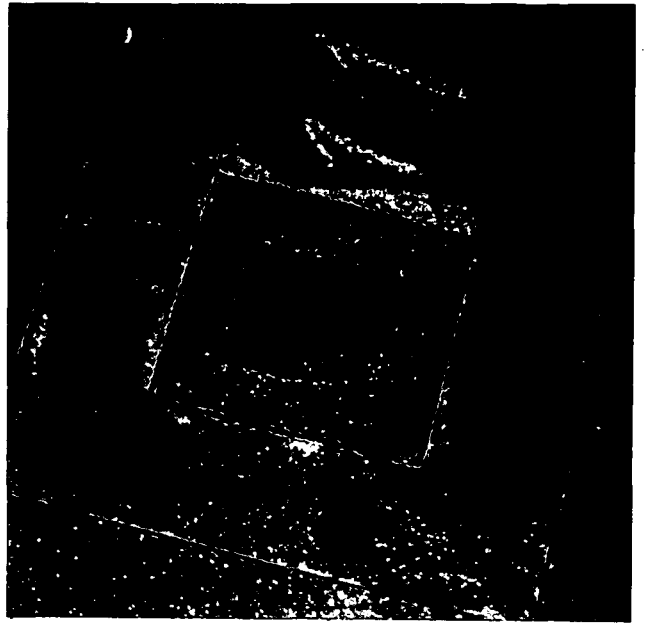
GEMETEN EN BEREKENDE SNELHEIDSPROFIELEN



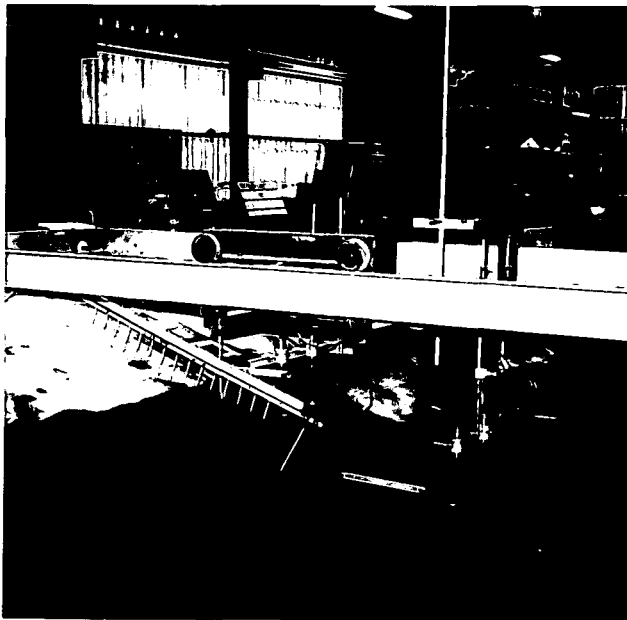
VERGELIJKING GEMETEN EN BEREKENDE
STROOMSNELHEID



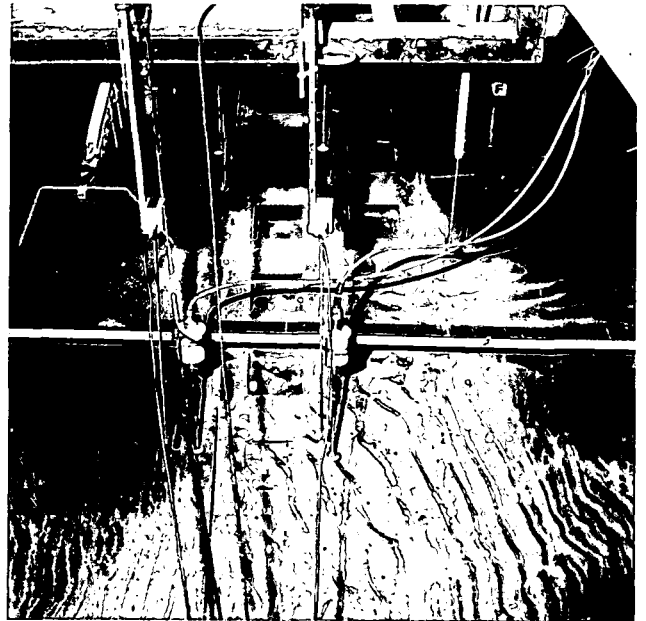
Overzicht meetfaciliteit



Open taludbekledingsblok



Overzicht meetinstrumenten



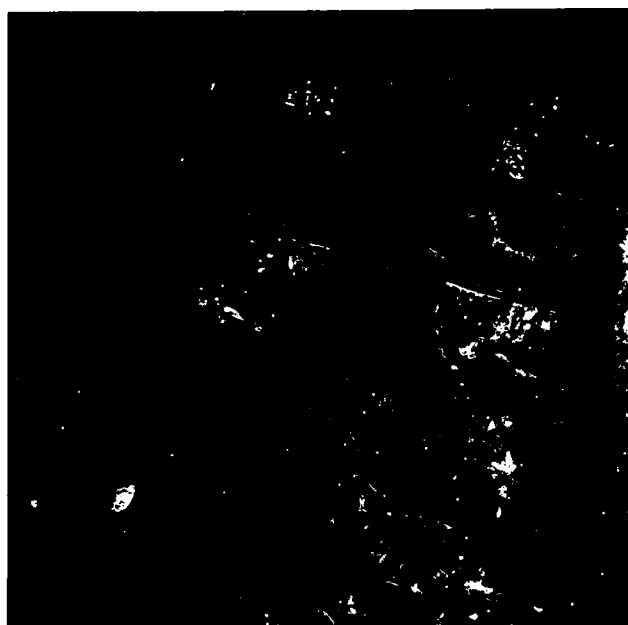
Meetsektie



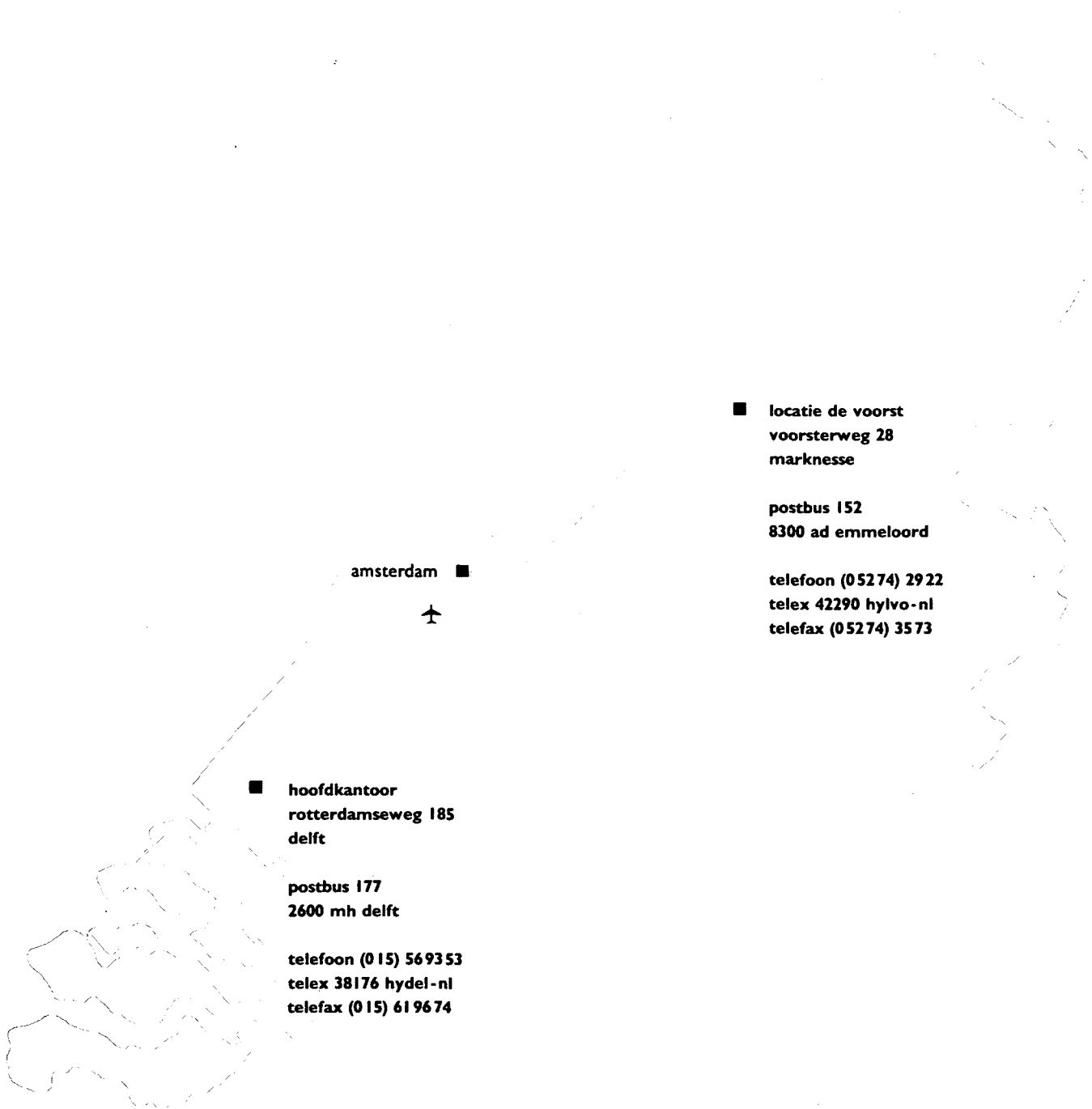
Waterbeweging boven meetsektie



Gedeeltelijk geërodeerde gaten



Detail gedeeltelijk geerodeerd
gatmateriaal



amsterdam ■



■ locatie de voorst
voorsterweg 28
marknesse

postbus 152
8300 ad emmeloord

telefoon (05274) 2922
telex 42290 hylvo-nl
telefax (05274) 3573

■ hoofdkantoor
rotterdamseweg 185
delft

postbus 177
2600 mh delft

telefoon (015) 569353
telex 38176 hydel-nl
telefax (015) 619674

**waterloopkundig laboratorium | wl
advisering & research**