NN31545.0484

OOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 484, d.d. 16 oktober 1968

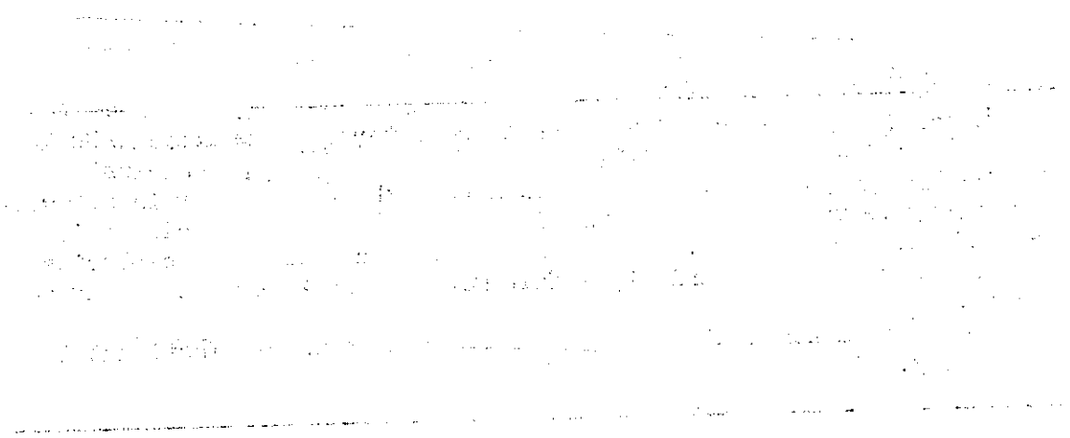
De invloed van een tijdelijke bronbemaling op het diepe grondwater in de omgeving van Pernis en Schiedam.

Ph. Th. Stol

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

543927



Inhoud pag.

Inleiding	1
IJkingen en andere waterstandsmetingen	1
Afmalingsplan	2
Opgetreden waterstanden	3
Opgetreden verlagingen	4
Amplitudedemping en fasevertraging	6
Spreidingen rond de betrekkingslijnen	9
Parameterwaarden vóór en tijdens de bemaling	9
Ervaringen bij oudere bouwwerken in hetzelfde gebied	10
Slotopmerkingen	13
Literatuur	16

Bijlagen 1 t/m 5

Tekeningen nr 68 C 106. 1 t/m 24/3.1

Inleiding

Tussen de jaren 1962 en 1966 vond de bouw plaats van de Benelux-tunnel onder de Maas bij Pernis en van een dok voor de scheepswerf Wilton-Feyenoord te Schiedam. Deze werken hadden tot konsekwentie dat de waterstand ter plaatse tijdelijk in belangrijke mate moest worden verlaagd, zowel op de zuidelijke oever voor de bouw van de afrit van de tunnel en het bouwdok voor de tunnelmoten, als op de noordelijke oever voor het Feyenoord-dok.

Voor het vastleggen van het grondwaterregime werd gebruik gemaakt van de techniek waarmede uit enkele gekozen vaste meetpunten (stambuizen) de waterstanden in het gebied werden berekend. De toepassing van deze techniek in het onderhavige gebied werd gepubliceerd door STOL (1965, a) terwijl een uitgebreid verslag gegeven werd in I.C.W.-nota 289 (STOL, 1965, b).

In deze laatst genoemde bijdrage werd een overzicht gegeven over de uitgevoerde berekeningen. De gegevens hadden betrekking op de waterstandsmetingen onder auspiciën van Rijkswaterstaat op de noordelijke oever van dinsdag 9 oktober tot en met vrijdag 12 oktober 1962 verricht. Dit type metingen waarbij elk uur, in sommige meetpunten elk half uur een peiling werd verricht wordt aangeduid als "ijking".

In figuur 1 wordt een topografisch overzicht over het gebied gegeven.

IJkingen en andere waterstandsmetingen

In de tijd dat de werkzaamheden duurden werden naast de ijkingen ook 14-daagse metingen verricht. Het overzicht over de metingen luidt als volgt (tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van onder auspiciën van Rijkswaterstaat uitgevoerde waterstandsmetingen

Type van meting	Aantal meet-punten	Oever van de Maas	Tijd ten opzichte van de bemaling	Tijdvak van meting	Resultaten beschreven in I.C.W.-nota nr
ijking	21	Noord	vóór	9 okt.'62 t/m 12 okt.'62	289
ijking	14	Zuid	vóór	19 mrt.'63 t/m 22 mrt.'63	459 deel I
ijking	22	Noord	tijdens	10 nov.'64 t/m 13 nov.'64	470
ijking	15	Zuid	tijdens	24 nov.'64 t/m 27 nov.'64	459 deel I
ijking(zondag)	1	Noord	vóór	7 mei '63 t/m 10 mei '63	Benut bij de
ijking(raai)	5	Noord	tijdens	2 apr.'65 t/m 5 apr.'65	interpretatie
14-daagse meting	alle	Noord en Zuid	vóór en tijdens	vanaf eind 1962 tot begin 1966	van de overige uitkomsten

In de in tabel 1 gememoreerde nota's zijn de zogenaamde ijkingen geanalyseerd en werden de gegevens, toen verkregen, aan een beschouwing onderworpen.

In deze nota, die het onderzoek afsluit, zullen de belangrijkste resultaten nog eens in hun onderling verband worden beschouwd.

Afmalingsplan

De verlaging van het diepe grondwater zoals die naar verwachting zal optreden ten gevolge van beide bemalingen is gegeven in figuur 2. Deze tekening vat het door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening te Den Haag uitgevoerde onderzoek samen en is ontleend aan tekening B-56 D de dato 17 september 1962, van de Commissie Wateronttrekking Benelux-tunnel.

Door het samenvallen van de tunnelbouw met de bouw van het dok op de werf Wilton-Feyenoord behoefde de bouwput op de noordelijke oever niet te worden bemalen. De laagste standen op beide oevers die met de bemaling werden bereikt traden overigens niet gelijktijdig op. Het verloop van de bemalingen staat weergegeven in de figuren 3 en 4.

Figuur 3 geeft de bemalingshoeveelheden in m^3 per uur voor het Feyenoord-dok en de corresponderende standen van het diepe grondwater in peilbuis A. Een geleidelijke daling van de waterstand gedurende 1963 werd bewerkstelligd tot een niveau tussen 5 en 6 m - NAP bereikt werd, dat in 1964 gehandhaafd bleef. Daarna vond in januari 1965 een scherpe daling tot ongeveer 10 m - NAP plaats, vrijwel onmiddelijk gevolgd door een stijging zodat in januari 1966 het oude niveau bijna weer bereikt was.

Figuur 4 geeft de bemalingshoeveelheden van de zuidelijke afrit en het bouwdok. De geregistreerde peilen van meetpunt 55 staan eveneens weergegeven. Omstreeks mei - juni 1963 vond een steile daling naar het laagst gewenste niveau plaats dat in de herfst van dat jaar werd bereikt en $7\frac{1}{2}$ m - NAP bedroeg. Daarna volgde een geleidelijke stijging tot november 1965 in welke winter ook hier de standen van het diepe grondwater weer op het normale niveau terug kwamen.

In de figuur staan de afgepompte hoeveelheden van het bouwdok gesuperponeerd op die van de afrit uitgezet.

De data waarop de ijkingen plaats vonden en die waarvan kaartjes met verlagingen werden vervaardigd, staan door pijltjes geïndiceerd.

Opgetreden waterstanden

De stijghoogten van het diepe grondwater, zoals die tijdens de werkzaamheden in verschillende stadia zijn voorgekomen, worden gegeven in figuur 5 tot en met 10.

Tijdens de ijkingen van oktober 1962 en maart 1963 vond nog geen verlaging van het grondwater plaats, zodat figuur 5, hoewel op twee data betrekking hebbend, een normaal beeld te zien geeft. Figuur 6 toont de situatie bij de laagste standen die op de zuid-oever zijn voorgekomen. Het niveau op de noord-oever was toen al gedaald tot meer dan 5 m - NAP. Figuur 7 schetst een tussensituatie in de zomer van 1964 terwijl figuur 8 de gemiddelde niveau's over de 3 dagen van ijking in november 1964 weergeeft. Daarna volgt in figuur 9 het overzicht van de standen gemeten op 11 januari 1965 toen op de noord-oever het laagste niveau bereikt werd.

De diepst gemeten standen lagen toen op bijna 9 m - NAP terwijl op de zuid-oever deze al weer tot 6½ m - NAP waren opgelopen. Figuur 10 geeft tenslotte de eindfase van de bemaling weer.

Opgetreden verlagingen

Ten einde na te gaan wat de opgetreden verlagingen op elke der genoemde data zijn geweest, werd een aantal niet beïnvloede peilbuizen in de directe omgeving van het werk in het onderzoek opgenomen. Het betrof hier buizen waarvan bij het Archief van Grondwaterstanden te Den Haag een of twee metingen per maand bekend zijn.

De afstand tot de rivieroever van deze buizen bedroeg respectievelijk

kaartblad	peilbuis nr	oever	afstand tot rivier in m
37 G	224	noord	550
"	46, 47, 48	zuid	2875
37 E	23	noord	3125

Met behulp van de gegevens uit deze buizen werden de vermoedelijke, door natuurlijke omstandigheden veroorzaakte verlagingen van de waterstanden in het gebied, berekend. Hiertoe werden geïnterpoleerde waarden voor deze verlagingen berekend voor afstanden tot de oever overeenkomend met de plaats van de peilbuizen uit figuur 1. Deze natuurlijke verlagingen ten opzichte van de winterstanden van 1962 - 1963 werden in mindering gebracht op de beginsituatie in de peilbuizen waardoor een schatting van de verlaging door de bronbemaling kon worden berekend, uit het verschil met de gemeten waterstand.

De aldus verkregen berekende verlagingen ten opzichte van de natuurlijke situatie worden gegeven in figuur 11 tot en met 15. Figuur 11 geeft het overzicht op het tijdstip dat op de zuid-oever de laagste stand werd bereikt. De verlaging bedraagt nabij het centrum van het werk 680 cm om op een afstand van 1600 meter nog ruim 2 meter te bedragen. Deze verlagingscurve komt geheel overeen met die welke door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening werd berekend (zie fig. 2). Op de noord-oever bedroeg de grootst gemeten verlaging op deze datum 265 cm.

De volgende twee figuren van deze serie geven de verlagingen in de zomer van 1964 en die bij de ijking in november 1964. Het valt hierbij op dat op de zuid-oever de verlagingen eerst af- en daarna weer toenemen. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat door natuurlijke omstandigheden het peil langs de rivieroever op deze laatste datum ruim 1 meter hoger was dan in de juist afgelopen zomer. Dit betekent dus bij handhaving van het peil in de bouwput een grotere verlaging ten gevolge van de bronbemaling. Zie hiervoor tabel 2.

Tabel 2. Peilen in cm - NAP in zogenaamde verre buizen

Datum	Buis nr 224	Gemiddelde van 46, 47 en 48	Buis nr 23
9 - 12 okt.'62	136	62	394
19 - 22 mrt.'63	174	86	403
28 nov.'63	286	162	502
13 juli'64	316	146	453
10 - 13 nov.'64	216	131	451
24 - 27 nov.'64	231	128	446
11 jan.'65	241	128	423
10 jan.'66	156	60	386

De verlagingen op de noord-oever nemen gedurende deze periode toe en bedragen in november 1964 nabij het centrum van de put ruim 460 cm. Dit is ongeveer de situatie zoals die voorkomt in het afmalingsplan van figuur 2.

Zoals in figuur 3 werd aangegeven vindt vervolgens een sterke daling plaats van de waterstanden rondom de bouwput omstreeks januari 1965. De grootste verlaging in het centrum bedraagt thans ruim 640 cm doch gezien de korte tijd waarin deze verlaging gerealiseerd wordt plant de invloed van deze extra onttrekking zich niet verder voort dan de oude 1 meter verlagingslijn (vergelijk fig. 13 met 14). Het geleidelijk aan stoppen van de bronbemaling veroorzaakt het oplopen van de waterstanden in het gebied van onderzoek. Op beide oevers valt echter in januari 1966 nog een verlaging te constateren die op de noord-oever nog ruim 2 meter bedraagt (fig. 15).

Amplitudedemping en fasevertraging

Uit de analyse van de ijkingen van de peilbuizen zijn als belangrijkste conclusies de volgende punten naar voren gekomen (STOL, 1965 b, 1968 a en b).

- Over het algemeen volgen de stijghoogten op de zuid-oever de rivierstanden beter dan die gemeten op de noord-oever. Karakteristiek op de noord-oever was dat met toenemende afstand tot de rivier, in noordelijke richting, het overdag hoogwater geheel uitdempt.

- De amplitudedemping houdt nauw verband met de afstand tot de rivieroever zodat deze laatste als randvoorwaarde voor het stromingsbeeld werd opgevat. De kortste afstand tot het naastbij gelegen open water vertoonde deze samenhang niet.

- De fasevertraging gaf minder duidelijke indicatie omtrent de begrenzing van het stromingsveld. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het nog vrij grote interval van meting, namelijk om het 1/1 respectievelijk $\frac{1}{2}$ uur. Een aanwijzing werd verkregen dat ook nu de rivieroever als randvoorwaarde beschouwd dient te worden.

Deze conclusies zijn voor de noord- respectievelijk zuid-oever praktisch gelijkluidend en gelden voor de periode van vóór zowel als die van ná het in werking stellen van de bronbemaling. Tengevolge van de bronbemaling en het daarmede gepaard gaande lagere niveau van het diepe grondwater viel nog het volgende op te merken:

- Tijdens de periode van kunstmatige ingreep in het hydrologisch regime vertoonde het verloop met de tijd van het diepe grondwater een groter onregelmatigheid dan vóór die periode.

- De amplitudedemping op het lagere niveau heeft een grotere waarde dan dat op het hoge, natuurlijke niveau.

- Over de fasevertraging vallen, gezien de onnauwkeurigheid van bepalen er van, geen opmerkingen in deze richting te maken.

In de voorgaande bijdragen werden voor twee raaien op de noord- en zuid-oever de lineaire betrekkingen tussen log amplitudeverhouding en afstand, en fasevertraging en afstand berekend. Deze berekeningen werden nog eens herhaald doch nu zodanig dat aangenomen werd dat de afwijkingen rond de betrekkingslijnen voor alle onderscheiden gevallen aan dezelfde kansverdeling beantwoorden, zodat het materiaal kon worden samengevoegd. Met behulp van dummy-variabelen wordt er dan voor gezorgd dat elke curve zijn eigen constante behoudt. Voor een beschrijving van deze techniek wordt verwezen naar TOMEK (1963).

Een deel van de vergelijking en de erbij behorende gegevens komt er nu als volgt uit te zien:

$$Y = a_1D_1 + a_2D_2 + \ldots + a_8D_8 + b_1X_1 + \ldots + b_8X_8 + \varepsilon \qquad (0)$$

$$-0.468 = a_1.1 + a_2.0 + \ldots + a_8.0 + b_1.400 + \ldots + b_8.0 + \varepsilon_1 \qquad (1)$$
$$-0.377 = a_1.1 + a_2.0 + \ldots + a_8.0 + b_1.150 + \ldots + b_8.0 + \varepsilon_2 \qquad (2)$$
$$\vdots$$
$$-0.678 = a_1.1 + a_2.0 + \ldots + a_8.0 + b_1.725 + \ldots + b_8.0 + \varepsilon_9 \qquad (9)$$
$$-0.770 = a_1.0 + a_2.1 + \ldots + a_8.0 + b_1.0 + \ldots + b_8.0 + \varepsilon_{10} \qquad (10)$$
$$\vdots$$

in welke laatste vergelijking nu de term $b_2.725$ voorkomt. Verder geldt in (0) : Y = log amplitudeverhouding, D_i zijn dummy-variabelen die alleen de waarden 1 en 0 aannemen, X_i = afstand tot rivieroever. De gegevens in (1), (2) tot en met (9) hebben betrekking op Noord - vóór - raai 1 en wel de meetpunten A, B, ..., 18. De gegevens in (10) ... op Noord - vóór - raai 2, meetpunt 11,...

In de vergelijkingen stelt ε een kansvariabele voor met gemiddelde waarde 0 en variantie σ^2 constant.

De indeling in raaien staat aangegeven in figuur 1 en komt neer op het gezamenlijk beschouwen van de volgende groepen peilbuizen:

Noord-oever	raai I,	centrum	: gebied tussen de Poldervaart en de Schie
	raai II,	west	: gebied ten westen van de Poldervaart
	raai III,	oost	: gebied ten oosten van de Schie
Zuid-oever	raai I,	oost	: gebied ten oosten van het bouwdok
	raai II,	west	: gebied ten westen van het bouwdok

De numerieke uitkomsten van de constanten zijn nu uiteraard dezelfde als voorheen, door het samenbundelen der gegevens is de betrouwbaarheid der uitkomsten echter toegenomen. Het totaal aantal gegevens bedraagt nu 53 terwijl in het model 16 parameters voorkomen. Dit betekent dat de berekening op 37 vrijheidsgraden is gebaseerd. Wordt elke lijn apart berekend, zoals eerder is gedaan, dan komen in elk afzonderlijk geval 2 parameters voor bij een totaal van ten hoogste 10 gegevens per geval. De gunstigste berekening in deze zin was dus gebaseerd op niet meer dan 8 vrijheidsgraden.

Voor de verschillende gevallen werd gevonden:

Betrekking tussen			Multipele	Standaard
y	en	afstand tot	correlatie	afwijking
log ampl. verhouding		rivier	0,97	0,07
log ampl. verhouding		havens	0,77	0,22
fase-verschuiving		rivier	0,75	33,5 min
fase-verschuiving		havens	0,66	37,9 min

De rivieroever blijkt dus nu in beide gevallen duidelijk de beste keuze voor de randvoorwaarde.

De gegevens en de berekende lijnen werden in de figuren 16 en 17 uitgezet. Het grote verschil in nauwkeurigheid tussen de bewerking met de amplitudeverhouding (fig. 16) en de fasevertraging (fig. 17) komt hierin goed tot uiting. De standaardafwijking bedraagt in het laatste geval ruim een half uur waarin de grootte van het interval tussen de waarnemingen tijdens de ijkingen wordt terug gevonden.

Spreidingen rond de betrekkingslijnen

Nu de berekeningen voor het gezamenlijke materiaal werden uitgevoerd kunnen ook de afwijkingen van de berekende ten opzichte van de gemeten waarden gezamenlijk worden weergegeven. Dit werd gedaan in de figuren 18, 19, 20 en 21. Steeds werd een nullijn als referentie-curve gebruikt en de afwijkingen ten opzichte van deze lijn weergegeven. De voorgaande conclusies worden hiermede nog weer anders belicht. Duidelijk valt de goede aansluiting van de waarnemingen rond de nullijn in figuur 18 op. De tegenstelling tot het alternatief (afstand tot open water) is groot (fig.19). De figuren brengen tevens de reeds gememoreerde standaardafwijking in beeld. De waarde van ruim 30 minuten kan in beide figuren 20 en 21 voor de fasevertraging, op de assen worden afgelezen.

Parameterwaarden vóór en tijdens de bemaling

De uitkomsten van de verschillende bewerkingen kunnen ook in die zin vergeleken worden dat de resultaten van vóór en ná het in werking stellen van de bronbemaling de variabelen zijn.

In de eerste plaats is dit gedaan voor de fasevertraging en de amplitudeverhouding. Een verzameling van de numerieke uitkomsten is gegeven in de bijlagen 1 tot en met 5. De grafische voorstelling geeft figuur 22. Het blijkt nu dat de faseverschuiving geen aanleiding geeft tot het vermoeden dat tussen beide situaties een systematisch verschil zou bestaan. Dit is wel het geval met de amplitudeverhouding. Het blijkt dat deze op het lagere niveau $\frac{3}{4}$ van de waarde van het hogere niveau bedraagt. De sinusoïdale beweging van de stijghoogten van het diepe grondwater is sterker gedempt dan zonder de bemalingsinvloed het geval was.

Overigens is de mate van sterkere demping afhankelijk van de ligging van het betrokken meetpunt. Dit valt duidelijk op in figuur 23 waarin de verhouding

$$\frac{\text{amplitudeverhouding met rivier na instellen bemaling}}{\text{amplitudeverhouding met rivier vóór instellen bemaling}}$$

staat weergegeven. Hoewel op beide oevers de gemiddelde waarde $\frac{3}{4}$ bedraagt is het patroon geheel anders.

Abschnitt [illegible]

[illegible]

Abschnitt [illegible]

[illegible]

Op de zuid-oever is het verband met de bronbemaling rechtstreeks. Op de noord-oever lopen de lijnen van gelijke verhouding evenwijdig aan de rivieroever. Hier wordt de indruk gevestigd dat de verstoorde hydrologische situatie een barriere vormt voor de oorspronkelijke voortplanting van het getij in het diepe grondwater. Hier speelt de invloed van de lokale onttrekkingen mede een rol. De oude bedding van de Schie manifesteert zich ook nu als een gebied waar het contact met de rivier beter bewaard blijft dan elders langs de oever. Opgemerkt wordt nog dat in deze figuur alleen de significante uitkomsten zijn weergegeven.

Figuur 24 tenslotte illustreert de kritieke waarde waarmede met een kans van 1 % verschillen tussen gemeten en berekende waarden zullen worden overschreden. Voor beide bemalingssituaties blijft gemiddeld dezelfde orde van grootte bewaard terwijl tenslotte ook de correlatie van de peilbuizen met de rivier weinig verandering ondergaat tengevolge van de invloed van de bemaling. Wel wijst de figuur nog uit dat op de noord-oever de verst verwijderde buizen (nr 6, 7, 9 en 10) in de nieuwe situatie praktisch geheel niet meer met de rivier gecorreleerd zijn. Dit is in overeenstemming met hetgeen in figuur 23 werd gevonden. Het contact met de rivier vindt vermoedelijk over een smalle basis plaats.

Ervaringen bij oudere bouwwerken in hetzelfde gebied

Bij de aanleg van de Parksluizen omstreeks 1930, waarbij de verbinding tussen Parkhaven en Coolhaven tot stand kwam werd eveneens een onderzoek naar verschillende hydrologische aspecten in dit gebied uitgevoerd. Hieraan is de naam van Ir C. FRANX verbonden, die in 1933 in het Polytechnisch Weekblad zijn bevindingen weergaf. Verschillende conclusies sluiten goed aan bij hetgeen in het hier gerapporteerde onderzoek werd gevonden.

De Parkhaven ligt 5½ km stroomopwaarts aan de rivier en is aldaar overeenkomstig gesitueerd als de Vulcaanhaven hoewel kleiner van afmeting (zie fig. 1). Langs de rivieroever en in het verlengde van de Parkhaven bevonden zich destijds een aantal peilbuizen waarvan de filters in het grove zand staken op een diepte van ongeveer 22 m - Rotte Peil. Dit peil komt overeen met laagwater op de Maas voor Rotterdam. Onder verwijzing naar de paginanummers van het betreffende artikel worden puntsgewijs de relevante conclusies vermeld.

. Het diepe grondwater verkeert in gespannen toestand, de getijbeweging plant zich in de bronnen voort (FRANX, pag. 59).

. De amplitude van de getijbeweging neemt met toenemende afstand tot de rivier af (pag. 59).

Verschillen tussen hoog en laag water, berekend aan de hand van half-uurlijkse peilingen gedurende drie weken in de zomer van 1928 (pag.59), werden tegen de overeenkomstige waarden van de rivierstanden uitgezet. Hetzelfde werd gedaan voor de halftij standen.

. De spreiding van de punten rond de verwachte rechte wordt geringer bij afnemende afstand tot de rivier (pag. 66). Hoewel dit niet kwantitatief werd weergegeven wordt het verste meetpunt (afstand tot rivier 600 m) in dit opzicht als het slechtste gekenschetst.

Hier is het interessant naar figuur 12 van Nota 289 te verwijzen waar de grens voor correlatiecoëfficiënten met de rivier groter dan 0,90 op nog geen kilometer van de rivieroever ligt en deze plaatselijk tot ongeveer 350 m nadert.

. "Bij een opbrengst van 28 m^3/uur" (beperkte capaciteit bij een pompproef ten NW van de Parkhaven) "vertoonden alle bronnen nog duidelijk de tij-beweging, echter met enige demping, dus met iets minder 'tijverschil' dan vóór het pompen. Bij een opbrengst van 77 m^3/uur was de tijbeweging in de zuigbron sterk gedempt, evenals in het peilfilter a. De verst van de zuigbron verwijderde bron d vertoonde nog duidelijk de tijbeweging, zij het dan ook enigszins gedempt." (pag. 67-68)

Ook dit verschijnsel werd bij de huidig uitgevoerde bemaling gevonden en een gemiddelde demping van 75 % werd vastgesteld (fig. 22 en 23).

FRANX (pag. 68) verbindt hieraan de conclusie dat de gebruikte centrifugaalpomp meer neiging vertoonde met een constante opvoerhoogte te werken dan met een constante opbrengst. Ook nu ontbreekt een kwantitatieve maat, doch uit de gegeven beschrijving verkrijgt men de indruk dat het door FRANX beschreven geval overeenkomstig is aan dat wat nu op de zuidelijke oever (fig. 23) werd gevonden.

De sterkere amplitudedemping komt alleen in de onttrekkingskegel voor en de niveaulijnen voor gelijke waarden hebben dan ook dezelfde vorm.

Het patroon van de noordelijke oever laat echter ruimte om aan te nemen dat ook andere invloeden een rol spelen zoals plaatselijke wateronttrekkingen gecombineerd met de complexe geo-hydrologische opbouw van het gebied.

Uit het aangehaalde artikel kunnen de volgende parameterwaarden worden overgenomen (Tabel 3)

Tabel 3. Amplitudeverhouding en fasevertraging naar FRANX (1933)

Metingen van juni 1928

Meetpunt	Amplitudeverhouding b_1	log b_1	Fasever-schuiving min	Afstand tot rivier	Afstand tot open water
VII	0,70	-0,1549	0	40	10
VI	0,45	-0,3468	-15 *)	50	50
I	0,19	-0,7212	60	450	15
II	0,19	-0,7212	-	475	30
III	0,17	-0,7696	60	525	85
V	0,14	-0,8539	90	600	170

*) vóór op rivier. Rivieramplitude = 78 cm

Deze uitkomsten staan in figuur 16 en 17 ingetekend, in de curve voor raai 2 op de noord-oever, van vóór de bemaling. Deze raai ligt in het verlengde van de Vulcaanhaven en is door richting en ligging het beste met de gegevens van FRANX te vergelijken. De spreiding die elk der steekproeven onvermijdelijk bevat mee in aanmerking genomen sluiten de oude gegevens goed bij de huidige aan.

De amplitude van de rivier bedroeg bij de uitgevoerde berekeningen (ijking van oktober 1962) 73 cm. Op 19 juni 1928 was deze waarde 78 cm.

Slotopmerkingen

De verkregen uitkomsten zouden zich in principe lenen voor het uitvoeren van berekeningen van waterstanden in het gebied van onderzoek uit rivierstanden en plaatselijke effecten. Hiertoe dienen dan in de regressievergelijkingen die coëfficiënten gebruikt te worden die bij het dan aanwezige niveau geldig zijn. De waarden van de coëfficiënten zouden door interpolatie uit de resultaten van de berekeningen van respectievelijk vóór en ná het in werking stellen van de bronbemaling gevonden kunnen worden (zie bijlagen 1 tot en met 5). Voor het vaststellen van het te kiezen niveau van het diepe grondwater kan dan een peilbuis in de directe omgeving van de bouwput gebruikt worden. De berekende standen in de overige peilbuizen kunnen tenslotte met de gemeten standen vergeleken worden.

Deze werkwijze werd op de veertiendaagse opnamen toegepast doch het bleek dat de waterstanden systematisch 10 à 40 cm te laag werden berekend en bovendien dat de grootste afwijkingen juist in het gebied met de hoogste correlatie met de rivier voorkwamen. De oorzaak moet dan ook gezocht worden in het feit dat lineaire interpolatie van parameterwaarden in dit geval geen juiste werkwijze is en bovendien dat de grote onzekerheid die in de bepaling van de fasevertragingen optreedt de verschillende noodzakelijke herleidingen systematisch beinvloedt. In het steilste gedeelte van de riviercurve bijvoorbeeld betekent een tijdsverschil van een uur een waterstandsverschil van ruim 40 cm.

Behalve deze indicatie zal nog een voorbeeld gegeven worden van het grote belang van een goede tijdvaststelling.

Van een van de peilbuizen (nr 62) werd nagegaan aan de hand van een vloeiend verlopen curve, getrokken door de waarnemingen (verricht 1 x per uur) wat de faseverschillen voor elk hoog- of laagwater waren. De resultaten werden verzameld in Tabel 4.

Tabel 4. Voorbeeld van verschillen in naijling van het diepe grondwater in peilbuis 62 Zuid, ten opzichte van de rivier

Datum	Rivier	Peilbuis standen gemeten		Peilbuis standen grafisch		Faseverschil grafisch	
	t.o.v. NAP	tijd	- NAP (cm)	tijd	- NAP (cm)	top	dal
19 maart '63	0,93	10.45	0,91	11.12	0,90	78	
	-0,64	18.45	1,30	18.24	1,30		90
	0,80	0.40	0,94	0.00	0,92	60	
20 maart '63	-0,62	6.40	1,27	6.30	1,27		90
	0,95	12.40	0,89	12.42	0,89	80	
	-0,60	19.40	1,28	19.30	1,27		60
21 maart '63	0,80	1.40	0,92	1.42	0,92	80	
	-0,62	7.50	1,29	8.18	1,30		108
	0,84	14.50	0,95	14.18	0,93	66	
	-0,72	21.40	1,33	21.36	1,33		78
22 maart '63	0,78	3.50	0,93	3.48	0,93	120	
		gemiddeld				81	85
		gemiddeld				83	

Het blijkt nu dat de toppen gemiddeld 81 minuten later optreden dan op de rivier met waarden die tussen 60 en 120 minuten liggen. Het laagwater valt gemiddeld 85 minuten later met waarden tussen 78 en 108 minuten.

Het totale gemiddelde is 83 minuten doch de spreiding rond deze waarde is groot. De schatting van deze gemiddelde waarde door de numerieke bewerking vertoont echter een systematische afwijking hiervan.

Hoewel oorspronkelijk deze buizen op het hele uur zouden worden gepeild vonden door organisatorische moeilijkheden de waarnemingen ook op andere tijdstippen plaats afhankelijk van de route van de waarnemers. Zo werd peilbuis 62 gemeten op 20 minuten, een kwartier of 10 minuten voor het hele uur. De berekening hiermede leverde een waarde voor de fasevertraging die uit moest komen op 45, 105, 165 minuten ten opzichte van de steeds gebruikte reeks rivierstanden.

De dichtst bij 83 minuten gelegen waarde, namelijk,afgerond, 105 werd dan ook als gemiddelde gevonden.

Het belang van een zorgvuldige registratie van waterstanden vooral toegespitst op de tijdstippen waarop gemeten wordt en een daaraan aangepaste bewerkingstechniek wordt hier nog eens onderstreept.

Literatuur

FRANX, C. 1933. Geo-hydrologisch onderzoek ten behoeve van een complex werken te Rotterdam.
Poly technisch Weekblad 57-59, 65-69, 88-90.

TOMEK, W.G. 1963. Using zero-one variables with time series data in regression equations.
Journal of Farm Economics Vol 45 No 4. 814-822.

STOL, Ph.Th. 1965 a. Een analyse van grondwaterstanden die beïnvloed worden door de getijdebeweging.
I.C.W. Mededeling 84.

——— 1965 b. Een onderzoek naar de gedragingen van het diepe grondwater in de omgeving van het Benelux-tunnelproject op de noordelijke oever van de Maas.
I.C.W. -Nota 289.

——— 1968 a. Samenvatting van resultaten van berekeningen uitgevoerd met grondwaterstanden zonder en met de invloed van een bronbemaling op de zuidelijke oever van de Maas.
Deel I: vóór het in werking stellen van de bronbemaling.
Deel II: geruime tijd ná het in werking stellen van de bronbemaling.
I.C.W.-Nota 459.

——— 1968 b. Een overzicht van uitkomsten verkregen uit berekeningen met grondwaterstanden onder invloed van een bronbemaling op de noordelijke oever van de Maas.
I.C.W.-Nota 470.

Bijlage 1. Overzicht uitkomsten parameterwaarden uit ijkingen vóór en ná het instellen van de bronbemaling

Noordelijke oever

Peilbuis nummer	Amplitude-verhouding met rivier b_1		Multipele correlatie-coëfficiënt		Waterstands-niveau cm - NAP		Afstand in m tot	
	voor	na	voor	na	voor	na	oever	open water
A	.34	.24	96.5	91.4	163	662	400	125
B	.42	.37	98,0	98.7	132	663	150	150
C	.26	.24	98.5	95.5	194	583	450	100
1	.07	.04	85.6	91.7	225	403	1275	450
2	.15	.10	96.8	81.1	280	432	975	375
3	.04	.01	84.5	60.6	242	382	1625	800
4	.06	.02	96.0	91.9	313	442	1725	1050
5	.27	.24	85.6	94.0	244	323	325	50
6	.01	.002 *)	93.5	79.4	272	376	2150	1350
7	.09	.01 *)	81.0	20.9	375	473	2000	1200
8	.06	.02	91.2	55.1	352	417	1125	200
9	.05	.01 *)	85.4	15.2	360	428	2900	1750
10	.05	.004 *)	94.3	31.5	374	440	1750	675
11	.17	.12	94.5	94.3	167	322	725	250
12	.08	.06	84.0	89.4	187	303	975	250
13	.01	.005	50.3	48.4	212	301	1625	925
14	.36	.26	97.1	98.2	106	253	225	225
15	.28	.21	98.5	99.0	134	357	550	75
16	.18	.15	100.0	99.9	233	447	875	75
17	.36	.28	96.5	88.6	97	370	275	50
18	.21	.16	97.2	97.0	178	450	725	100

*) niet significant (α = 5 %)

| | | |

Bijlage 2. Overzicht uitkomsten parameterwaarden uit ijkingen vóór en ná het instellen van de bronbemaling

Zuidelijke oever

Peilbuis nummer	Amplitude-verhouding met rivier b_1		Multipele correlatie-coëfficiënt		Waterstands-niveau cm - NAP		Afstand in m tot	
	voor	na	voor	na	voor	na	oever	open water
51	.49	.39	98.8	99.1	44	492	175	50
52	.43	.32	99.6	98.8	49	595	175	150
54							400	350
55	.31	.22	97.4	97.4	68	615	350	225
57	.38	.26	97.7	95.4	67	752	275	275
58	.28		98.9		77		600	200
59	.27	.21	98.3	95.9	74	538	500	350
60	.33	.24	99.3	97.4	70	646	400	400
62	.23	.20	95.4	93.8	111	592	425	425
64	.17	.15	99.2	92.4	29	392	675	275
65	.32	.28	93.7	97.0	68	552	225	225
66	.32		99.5		167		225	225
67	.10	.09	99.0	98.4	85	268	1500	400
68	.08	.10	97.3	87.3	125	343	1050	650
50	.28	.28		99.4	63	224	500	50

Alle b_1 significant (α = 5 %)

| | | |

Bijlage 3. De verhouding $\frac{b_1 \text{ na}}{b_1 \text{ voor}}$ berekend uit amplitudeverhoudingen met de rivier

Noordelijke oever

Nr	b_1 voor	b_1 na	Verhouding
A	.34	.24	0.71
B	.42	.37	0.88
C	.26	.24	0.92
1	.07	.04	0.57
2	.15	.10	0.67
3	.04	.01	0.25
4	.06	.02	0.33
5	.27	.24	0.89
6			*)
7			*)
8	.06	.02	0.33
9			*)
10			*)
11	.17	.12	0.71
12	.08	.06	0.75
13	.01	.005	0.50
14	.36	.26	0.72
15	.28	.21	0.75
16	.18	.15	0.83
17	.36	.28	0.78
18	.21	.16	0.76

Zuidelijke oever

Nr	b_1 voor	b_1 na	Verhouding
51	.49	.39	0.79
52	.43	.32	0.75
55	.31	.22	0.71
57	.38	.26	0.68
59	.27	.21	0.78
60	.33	.24	0.73
62	.23	.20	0.87
64	.17	.15	0.88
65	.32	.28	0.88
67	.10	.09	0.90
68	.08	.10	1.25
50	.28	.28	1.00

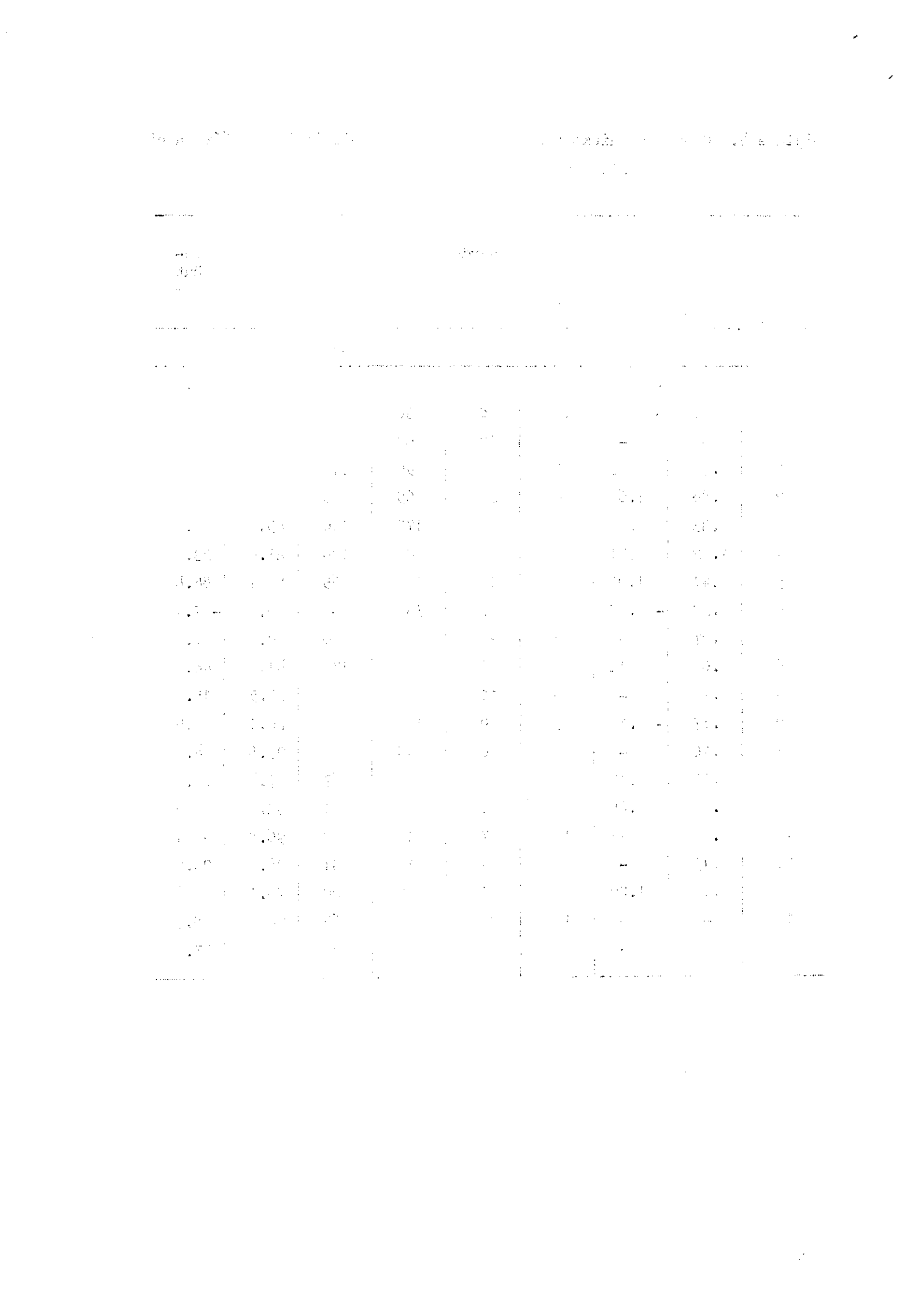
*) niet significant (α = 5 %)

| | | |

Bijlage 4. Overzicht uitkomsten parameterwaarden uit ijkingen vóór en ná het instellen van de bronbemaling

Noordelijke oever

Peilbuis nummer	Coëfficiënt voor plaatselijke effecten (peilbuis 16)		Kritieke waarde in cm 1% eenzijdig		Fase-verschuiving in min		Correlatie-coëfficiënt met rivier	
	voor	na	voor	na	voor	na	voor	na
A	.78	- .31	13	15	0	6	91,7	90.3
B	.22	- .26	11	8	30	5	97,5	98.4
C	.42	-	6	10	100	55	96.0	95.5
1	.32	.32	6	3	95	118	70.7	67.2
2	1.88	1.61	10	23	65	0	39.8	39.7
3	.33	.10	5	3	175	150	45.2	44.7
4	1.02	.51	6	4	80	120	23.8	33.6
5	.47	1.00	22	14	115	65	83.1	84.4
6	.30	- .15	2	2	335	-	9.2	- 7.1
7	1.27	-	18	20	0	0	29.4	7.1
8	.62	.12	6	6	93	186	41.0	48.1
9	.72	-	8	11	20	7	28.5	15.1
10	.77	- .18	5	9	126	0	28.1	3.9
11	.16	-	7	6	45	4	93.6	94.2
12	.23	.14	7	4	90	67	77.4	85.7
13	.09	.05	4	2	240	191	32.3	32.9
14	.22	.11	12	7	13	0	96.8	98.1
15	.15	-	6	4	15	31	98.3	99.0
16	1.00	1.00		1	0	20	76.1	77.8
17	-	-	14	20	33	65	96.5	88.5
18	.32	-	7	6	10	32	95.1	97.0



Bijlage 5. Overzicht uitkomsten parameterwaarden uit ijkingen vóór en ná het instellen van de bronbemaling. Zuidelijke oever

Peilbuis nummer	Coëfficiënt voor plaatselijke effecten (peilbuis 67)		Kritieke waarde in cm 1% eenzijdig		Fase-verschuiving in min		Correlatie-coëfficiënt met rivier	
	voor	na	voor	na	voor	na	voor	na
51	.72	.48	11	9	3	4	98.7	99.0
52	.47	.35	5	8	31	12	99.5	98.7
54			5					
55	-	.88	10	9	79	65	97.4	96.3
57	-	1.57	11	14	22	66	97.6	93.0
58	-		6		33		98.9	
59	-	.50	7	12	49	74	98.2	95.4
60	-	.74	5	9	50	68	99.3	96.7
62	-	-	10	12	104	59	95.4	93.7
64	.20	.85	3	10	98	123	99.1	90.3
65	-	1.30	16	12	52	73	93.7	95.6
66	.30		4		46		99.4	
67	.30	.67	2	3	33	50	98.6	94.3
68	.41	-	3	9	140	150	96.1	86.5
50		.70		5	41	30		99.0

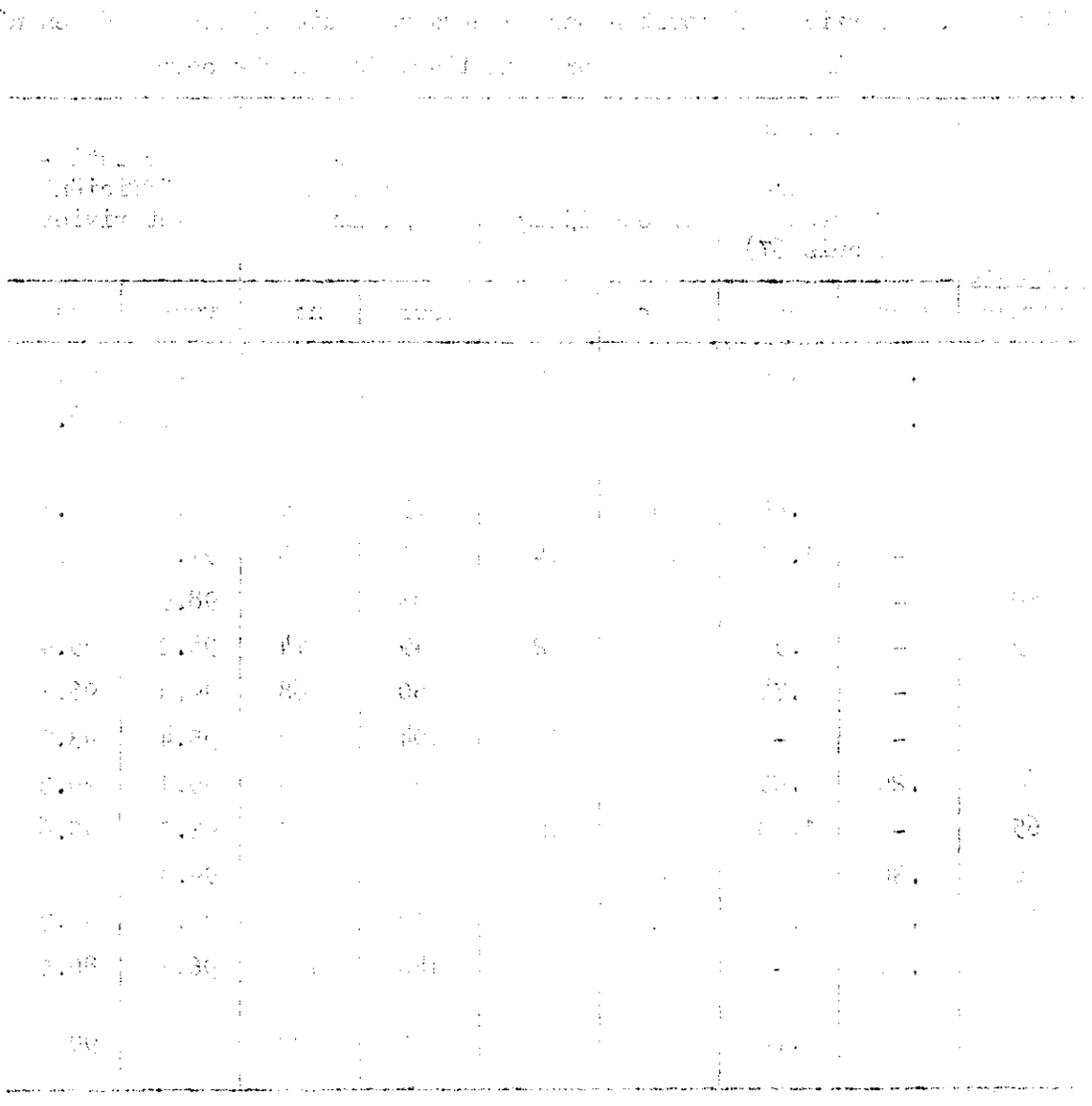
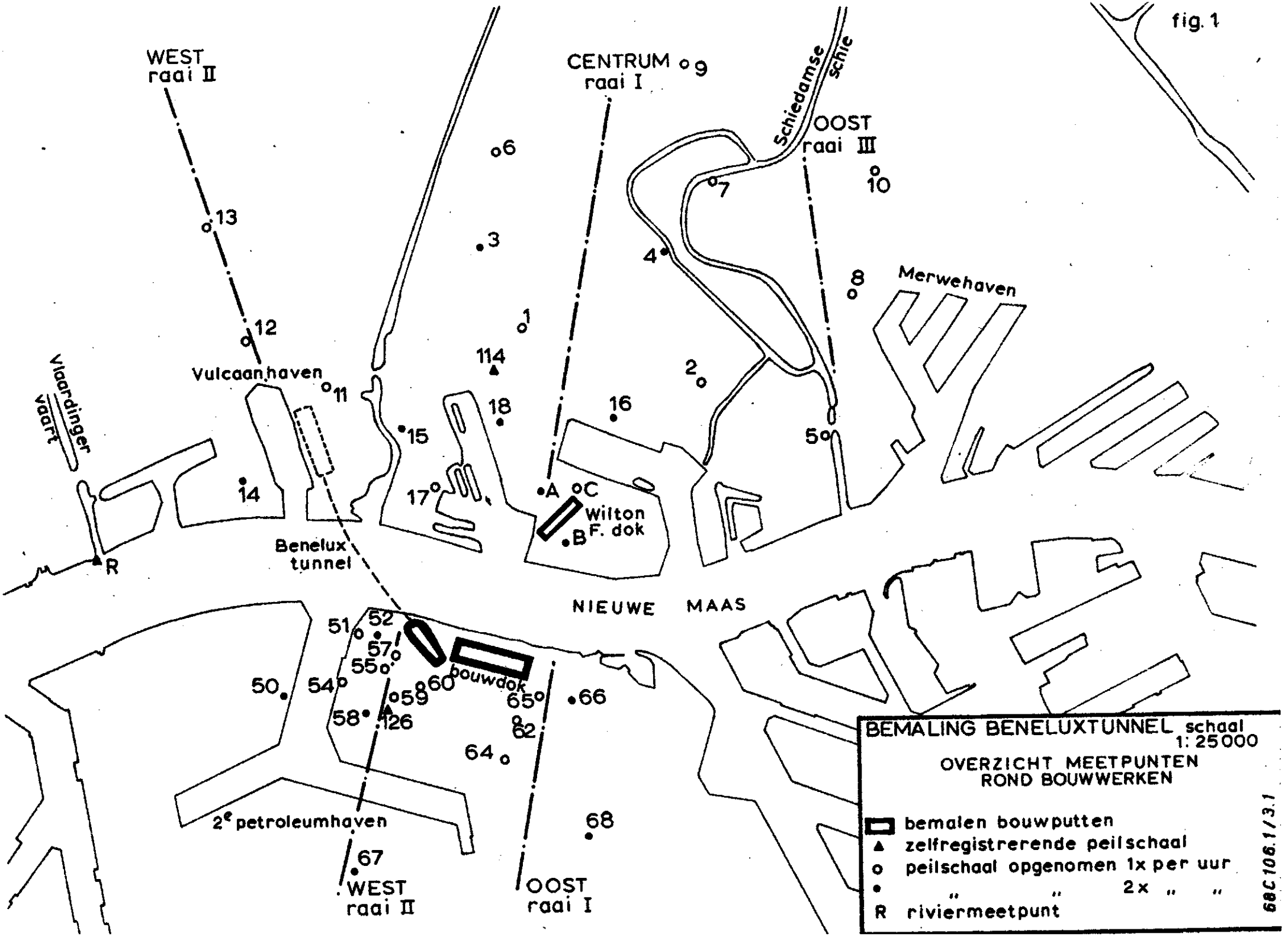


fig. 1



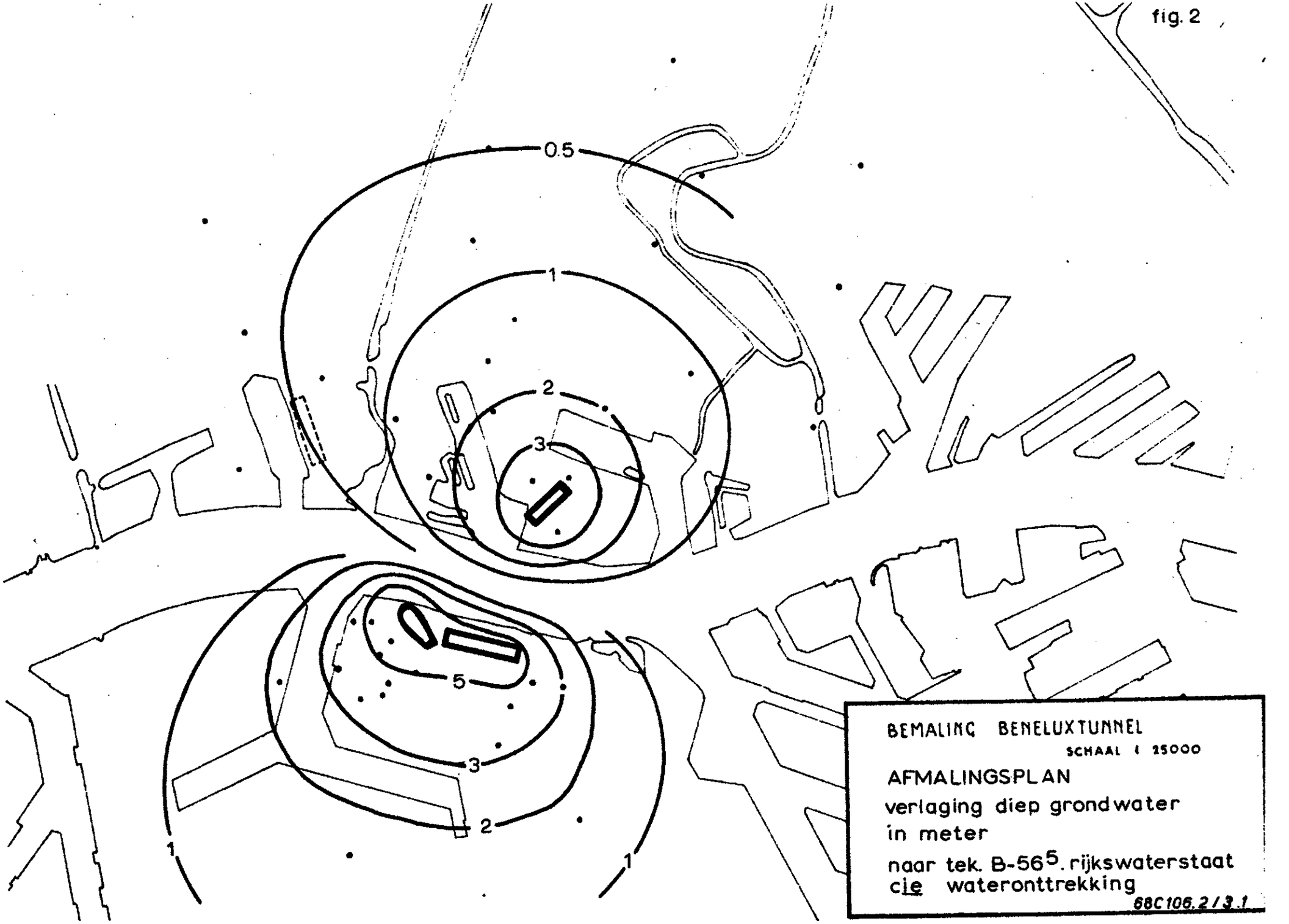
BEMALING BENELUXTUNNEL schaal 1:25000

OVERZICHT MEETPUNTEN ROND BOUWWERKEN

- bemalen bouwputten
- ▲ zelfregistrerende peilschaal
- o peilschaal opgenomen 1x per uur
- • " " 2x " "
- R riviermeetpunt

68C106.1/3.1

fig. 2



BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 25000

AFMALINGSPLAN

verlaging diep grondwater

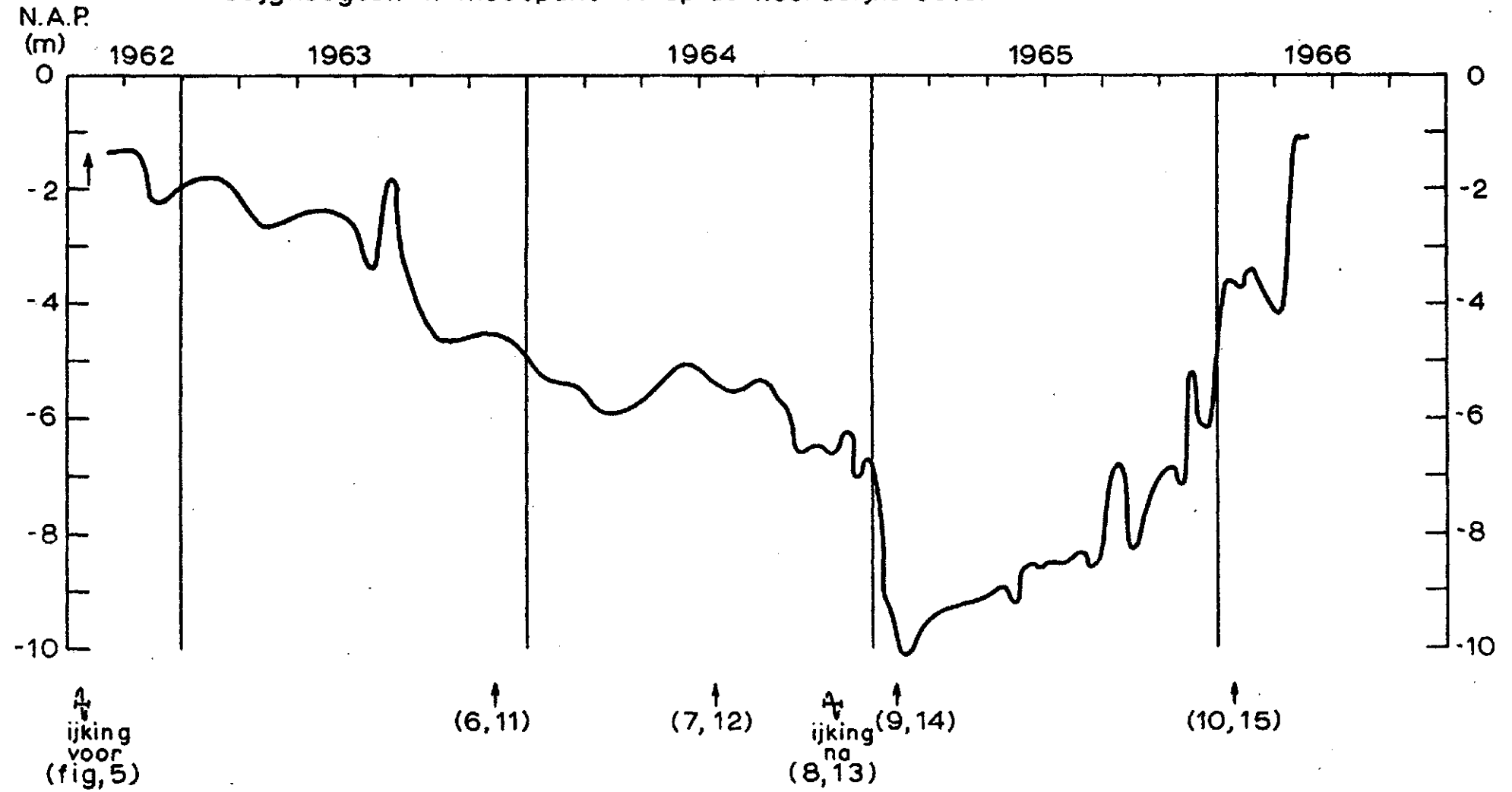
in meter

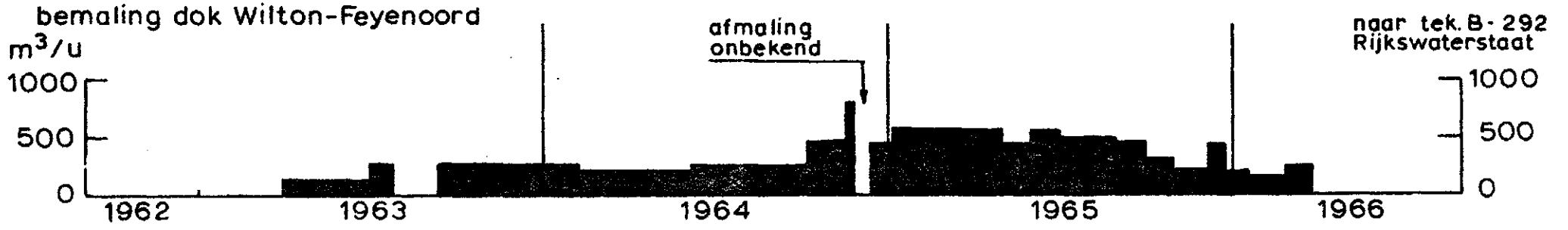
naar tek. B-565. rijkswaterstaat cie wateronttrekking

68C106.2/3.1

fig. 3

Stijghoogten in meetpunt A op de noordelijke oever

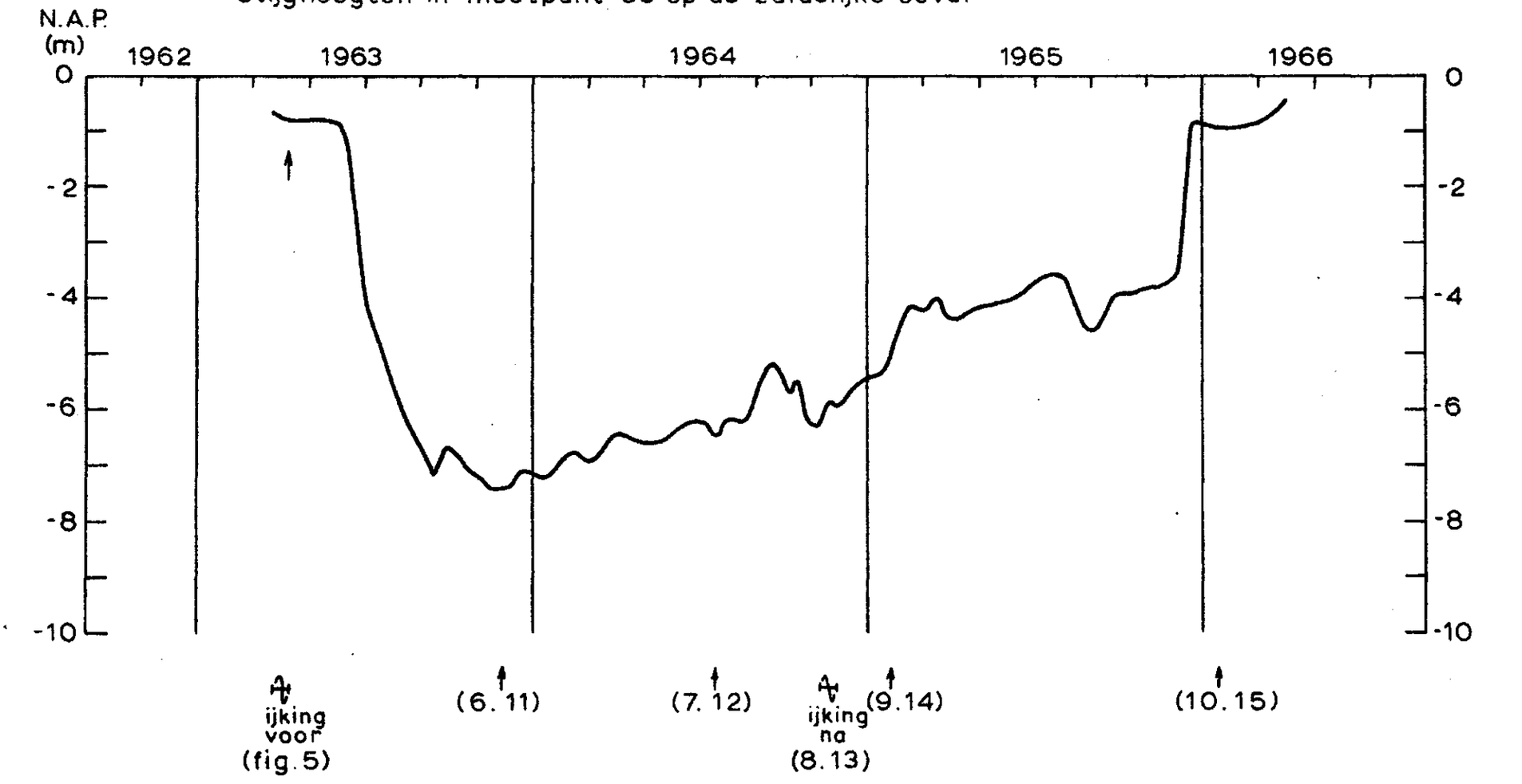


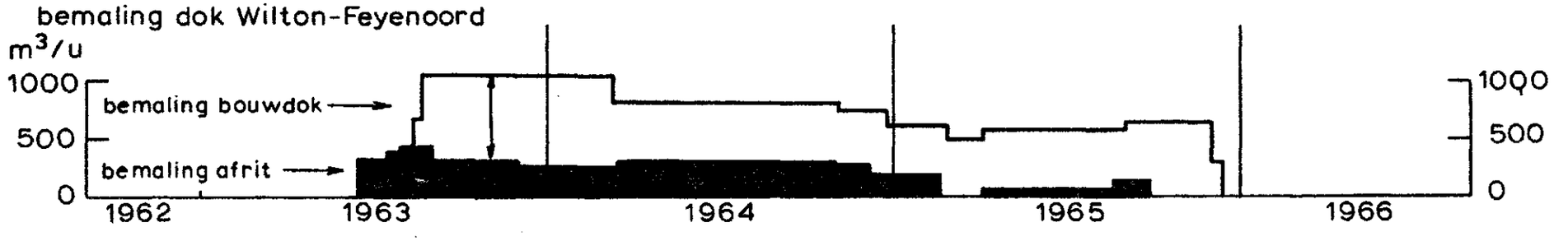


68C.106.3/3.1

fig. 4

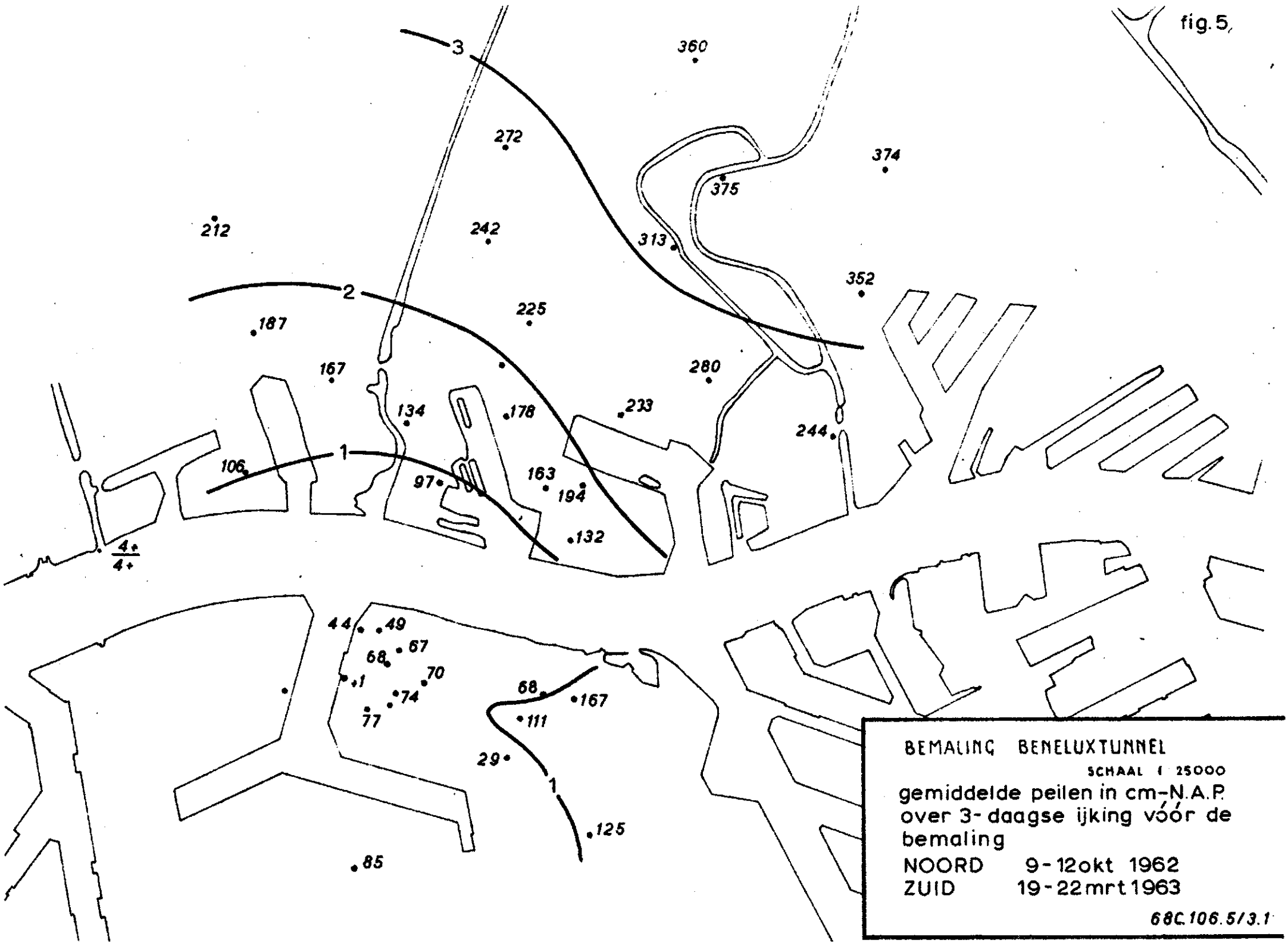
Stijghoogten in meetpunt 55 op de zuidelijke oever





68C. 106.4/3.1

fig. 5



BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

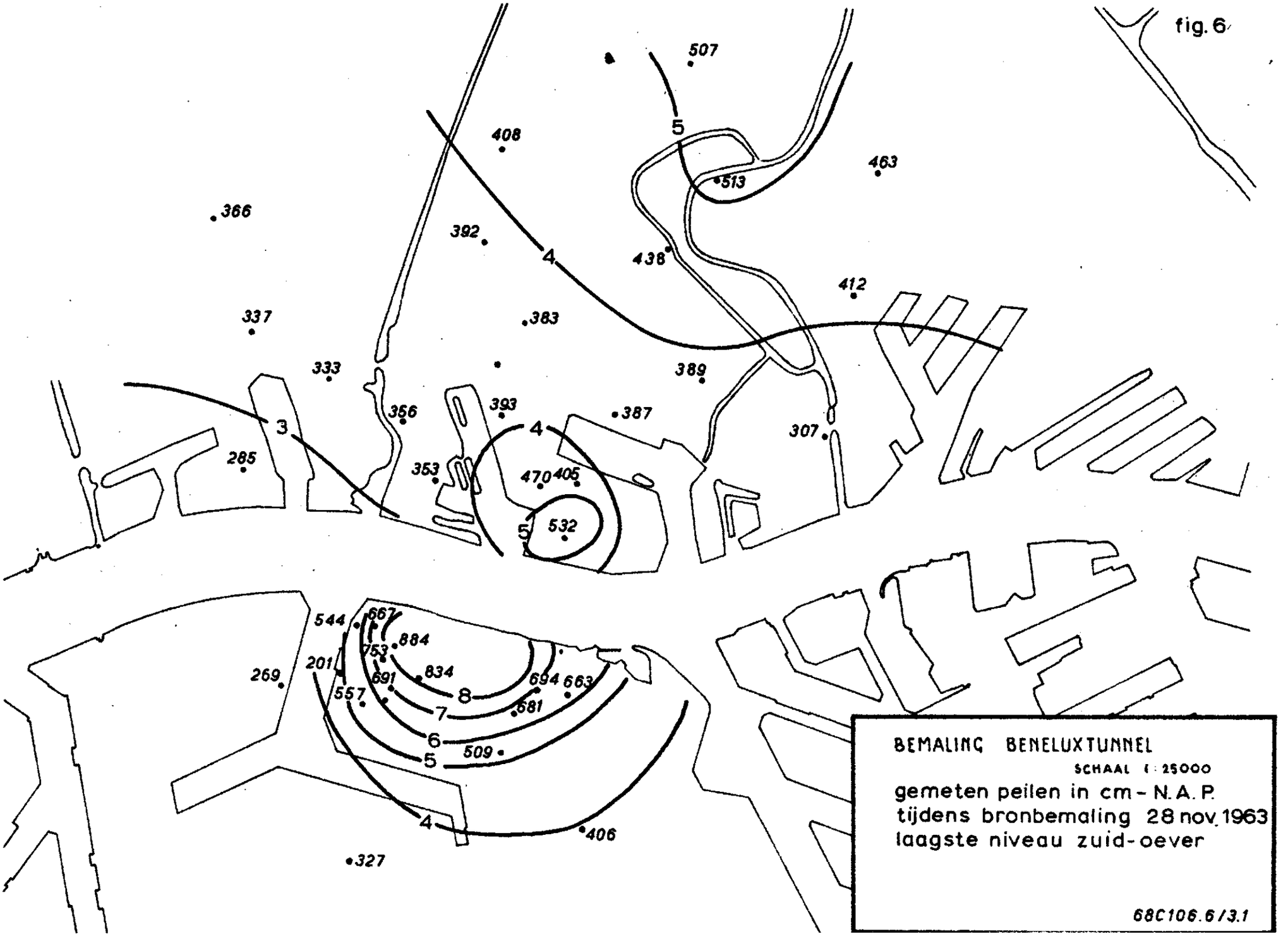
gemiddelde peilen in cm-N.A.P. over 3-daagse ijking vóór de bemaling

NOORD 9-12okt 1962

ZUID 19-22mrt 1963

68C.106.5/3.1

fig. 6



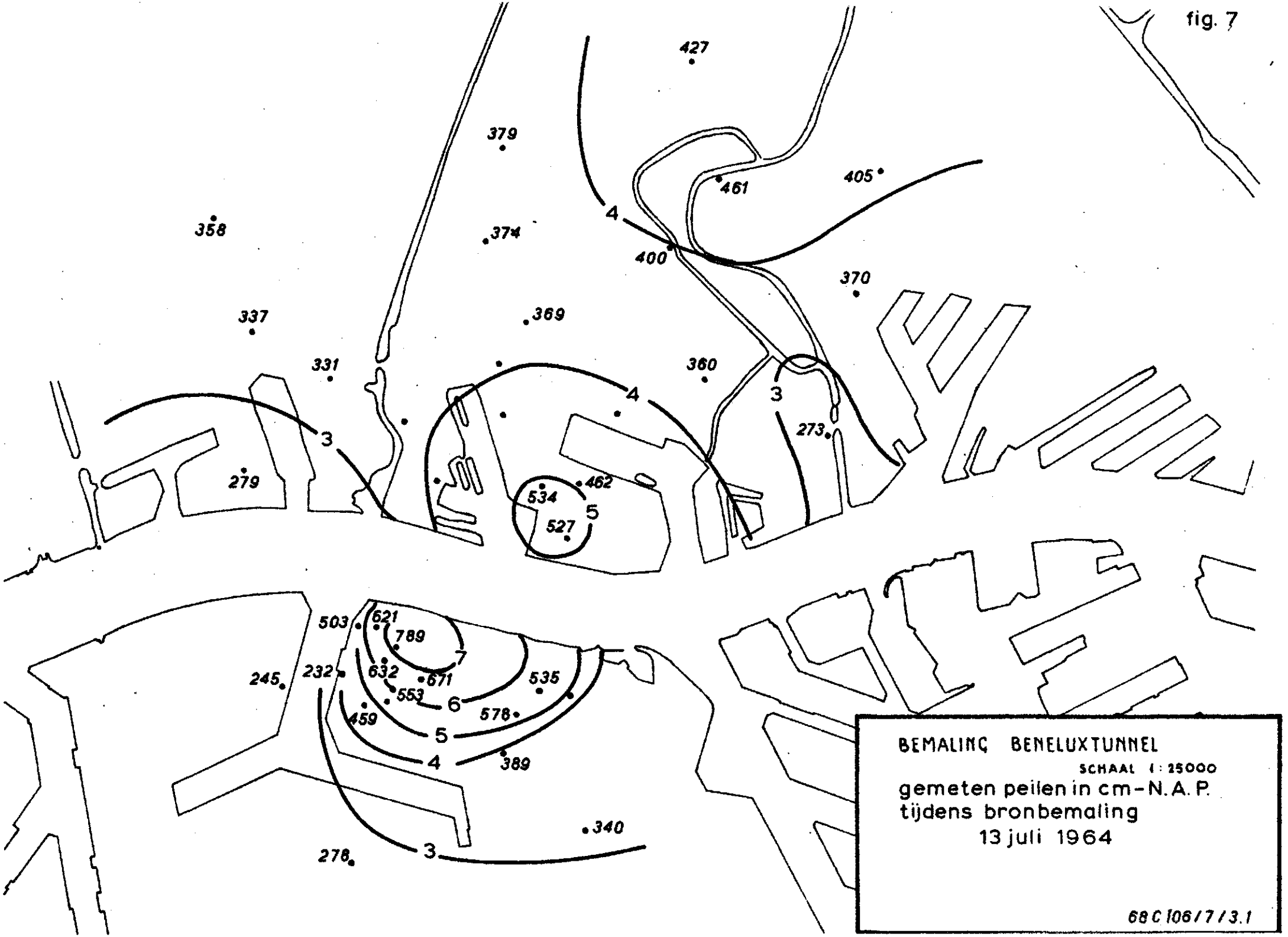
BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

gemeten peilen in cm - N.A.P.
tijdens bronbemaling 28 nov. 1963
laagste niveau zuid-oever

68C106.6/3.1

fig. 7



BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

gemeten peilen in cm - N.A.P.
tijdens bronbemaling
13 juli 1964

68 C 106 / 7 / 3.1

fig. 8

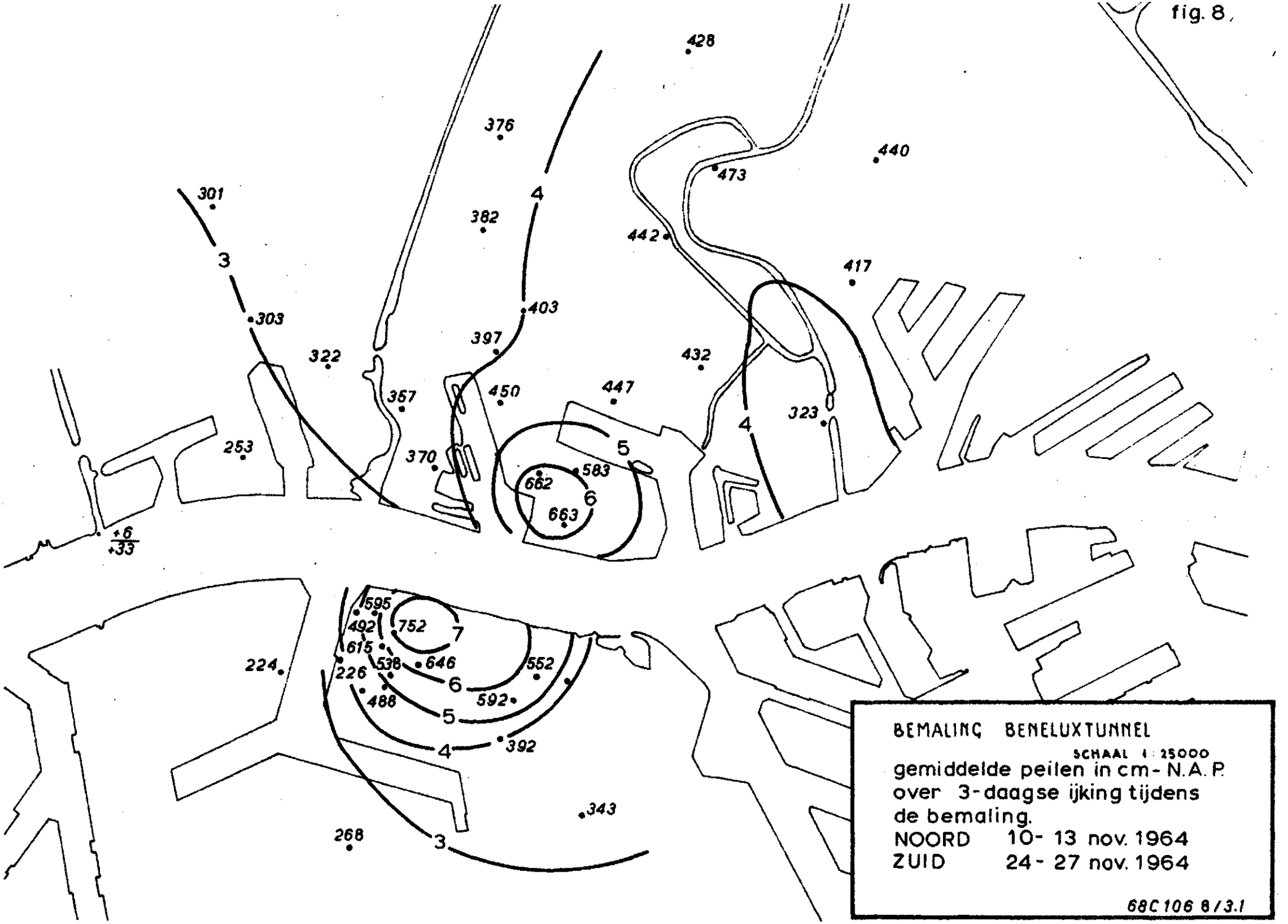
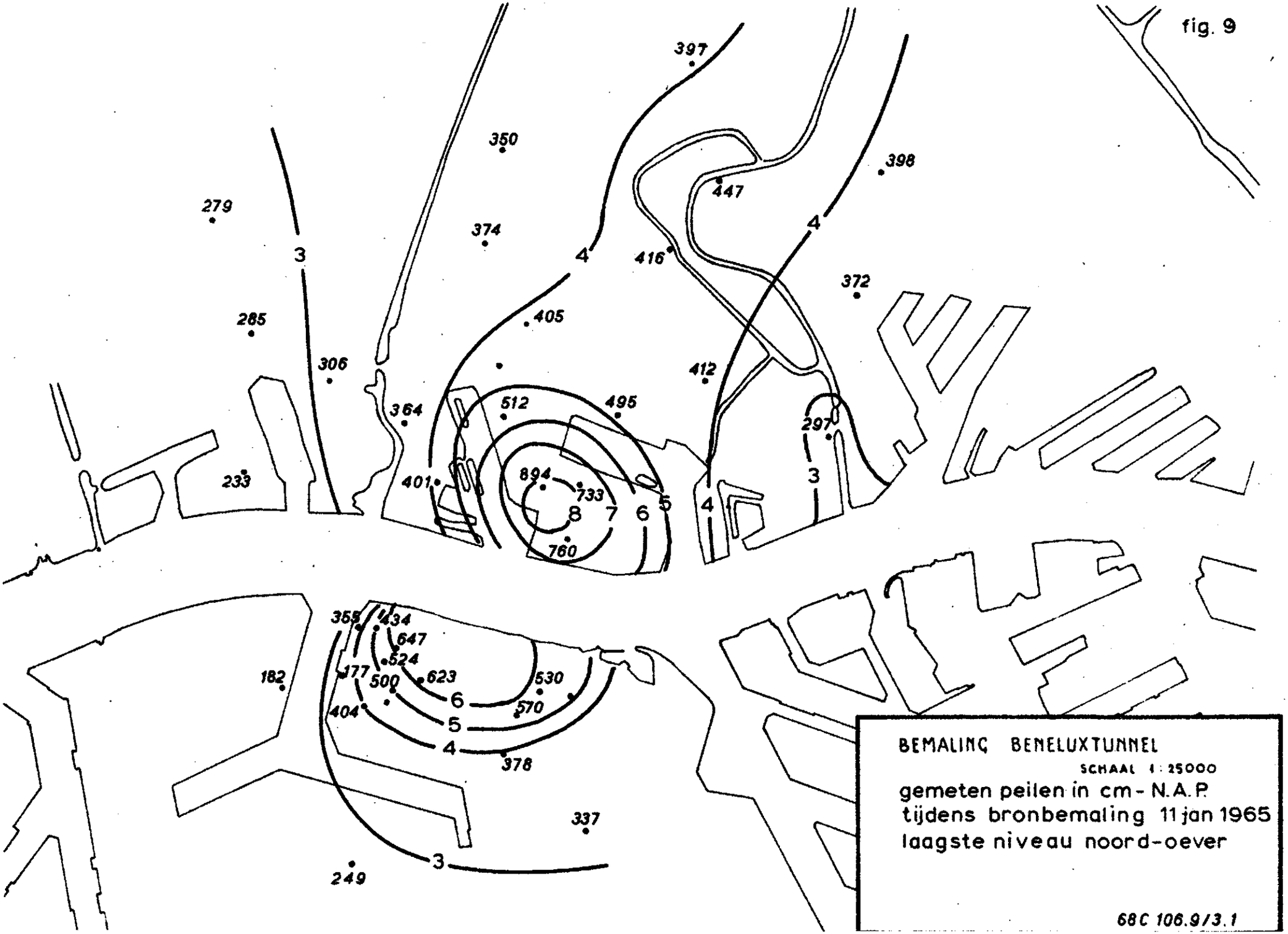

428
376
440
473
301
382
442
417
303
403
397
322
432
357
450
447
323
253
370
583
662
663
+6
+33
595
492
752
7
615
224
538
646
552
226
6
488
592
5
4
392
343
268
3
BEMALING BENELUXTUNNEL
SCHAAL 1 : 25000
gemiddelde peilen in cm - N.A.P.
over 3-daagse ijking tijdens
de bemaling.
NOORD 10 - 13 nov. 1964
ZUID 24 - 27 nov. 1964
68C 106 8/3.1

fig. 9



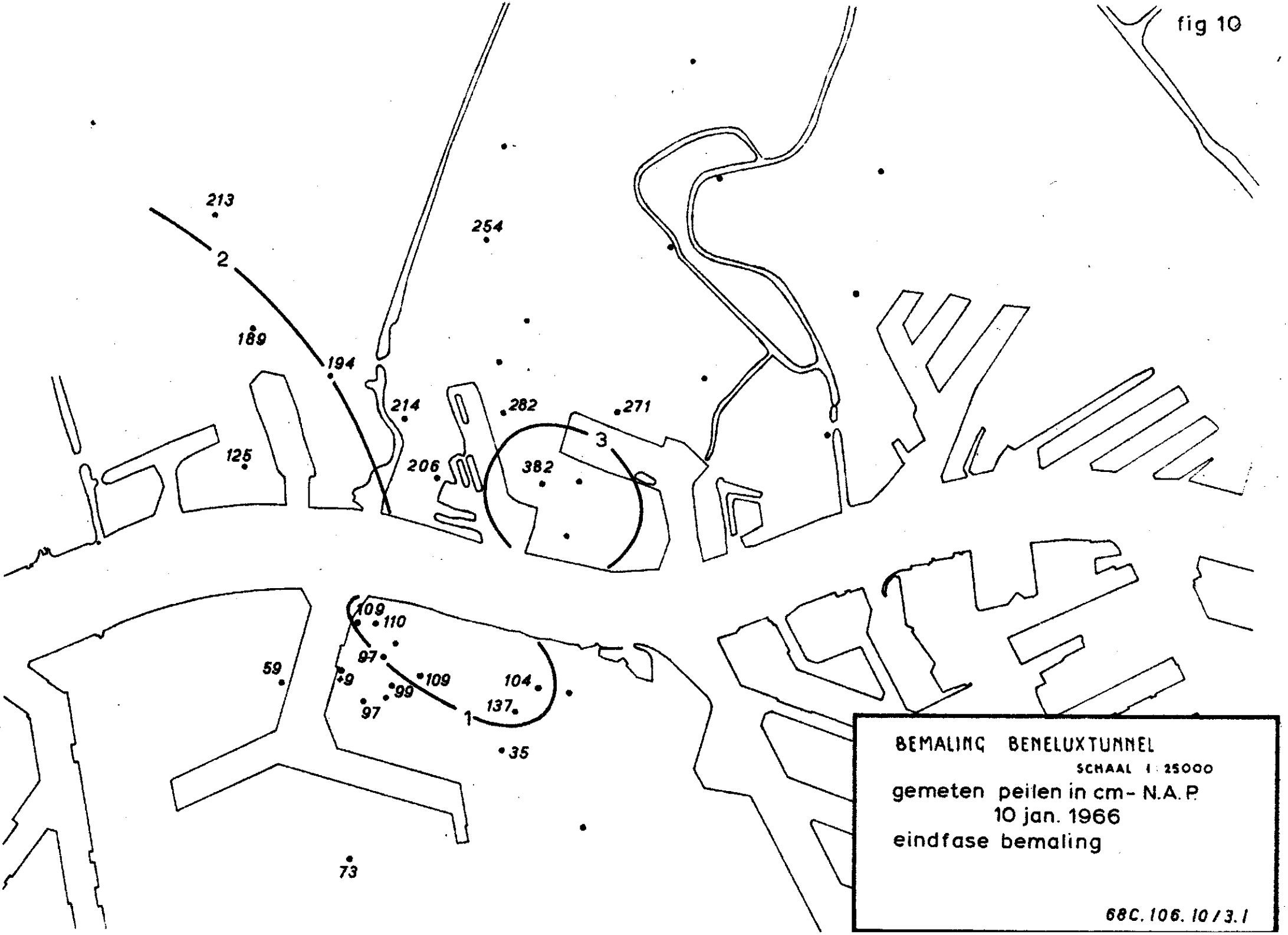
BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

gemeten peilen in cm - N.A.P.
tijdens bronbemaling 11 jan 1965
laagste niveau noord-oever

68 C 106.9/3.1

fig 10



BEMALING BENELUXTUNNEL

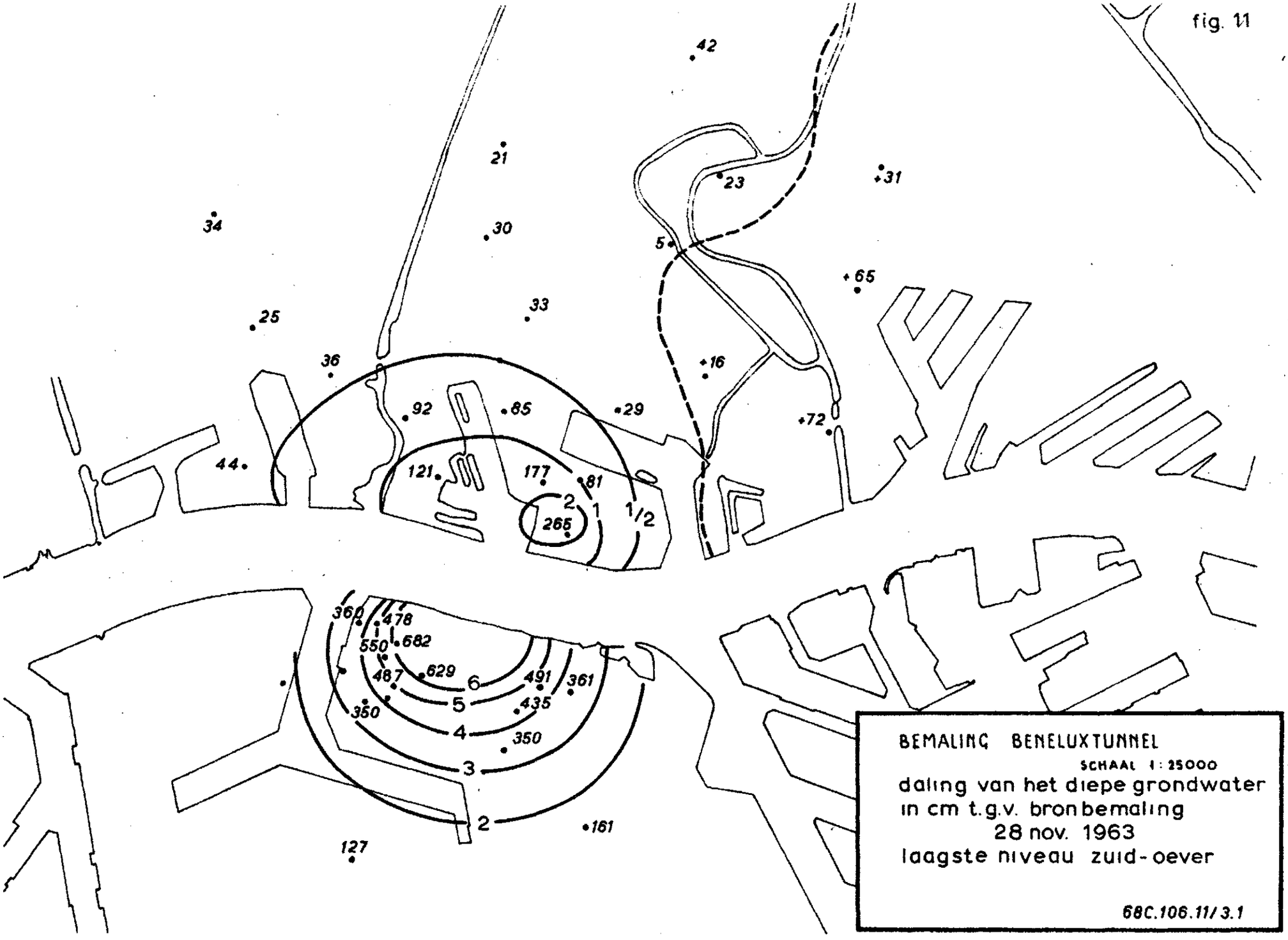
SCHAAL 1 : 25000

gemeten peilen in cm - N.A.P.

10 jan. 1966

eindfase bemaling

68C.106.10/3.1

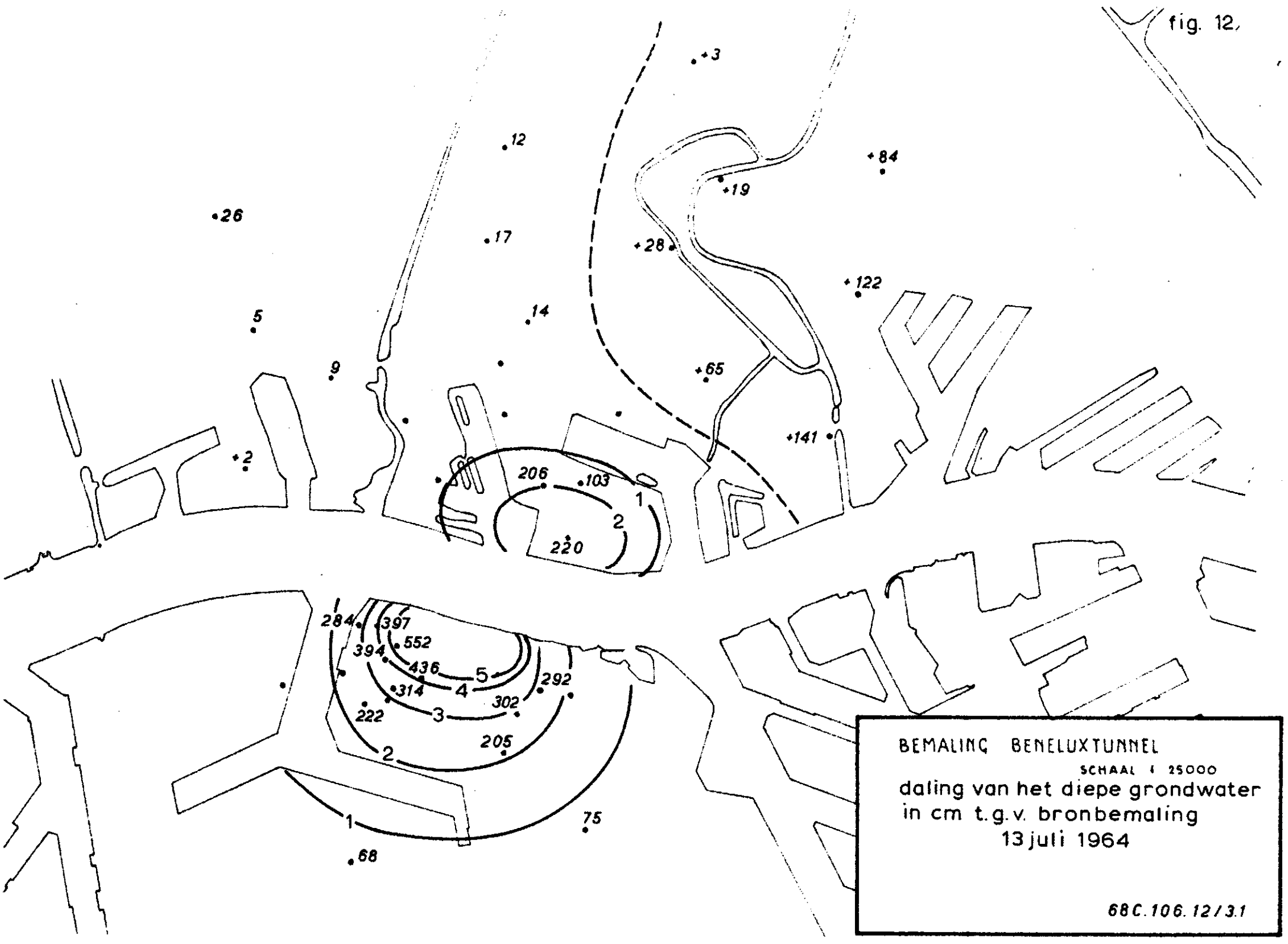


BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1:25000

daling van het diepe grondwater
in cm t.g.v. bronbemaling
28 nov. 1963
laagste niveau zuid-oever

68C.106.11/3.1



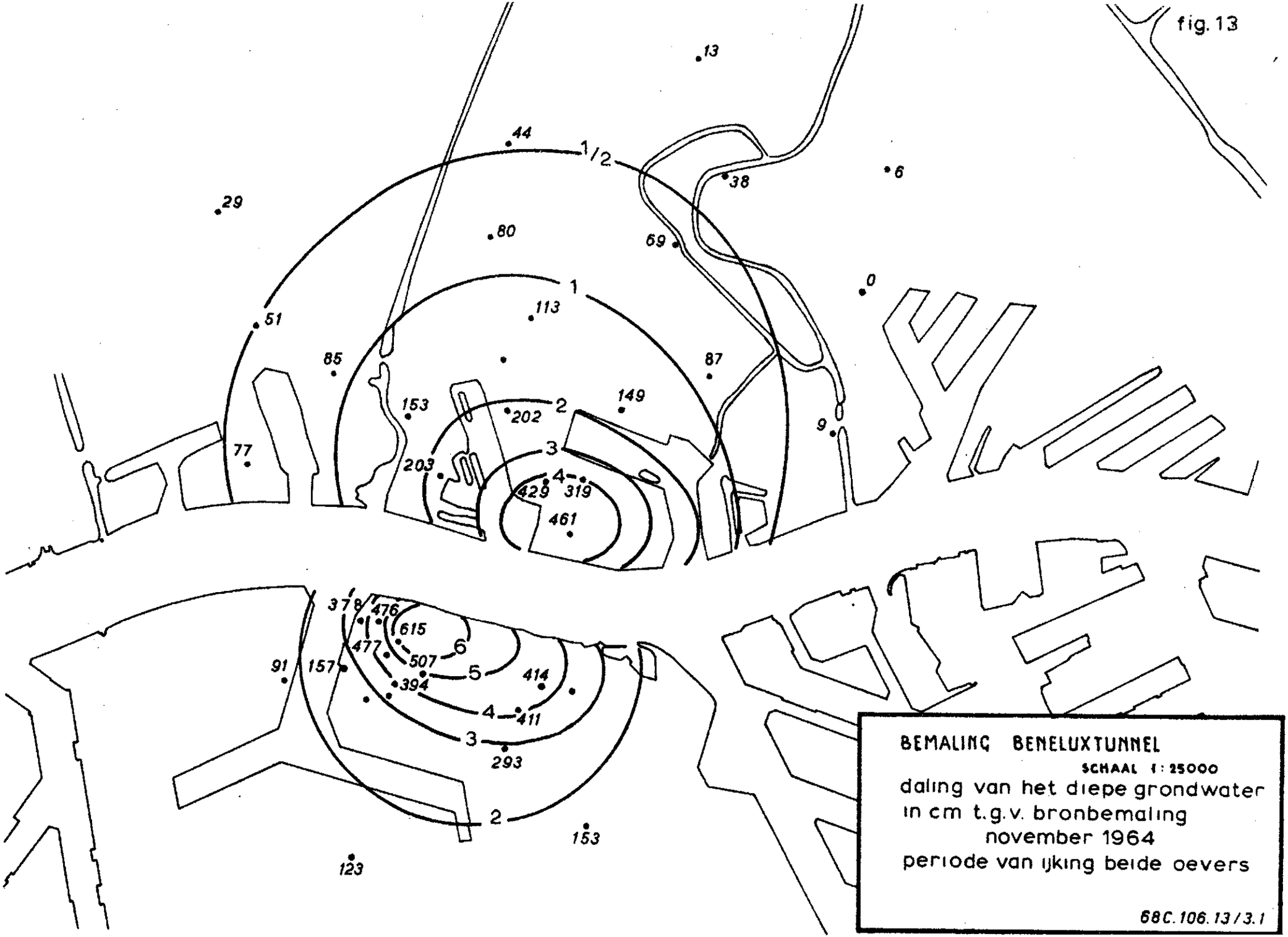
BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

daling van het diepe grondwater
in cm t.g.v. bronbemaling
13 juli 1964

68C.106.12/3.1

fig. 13

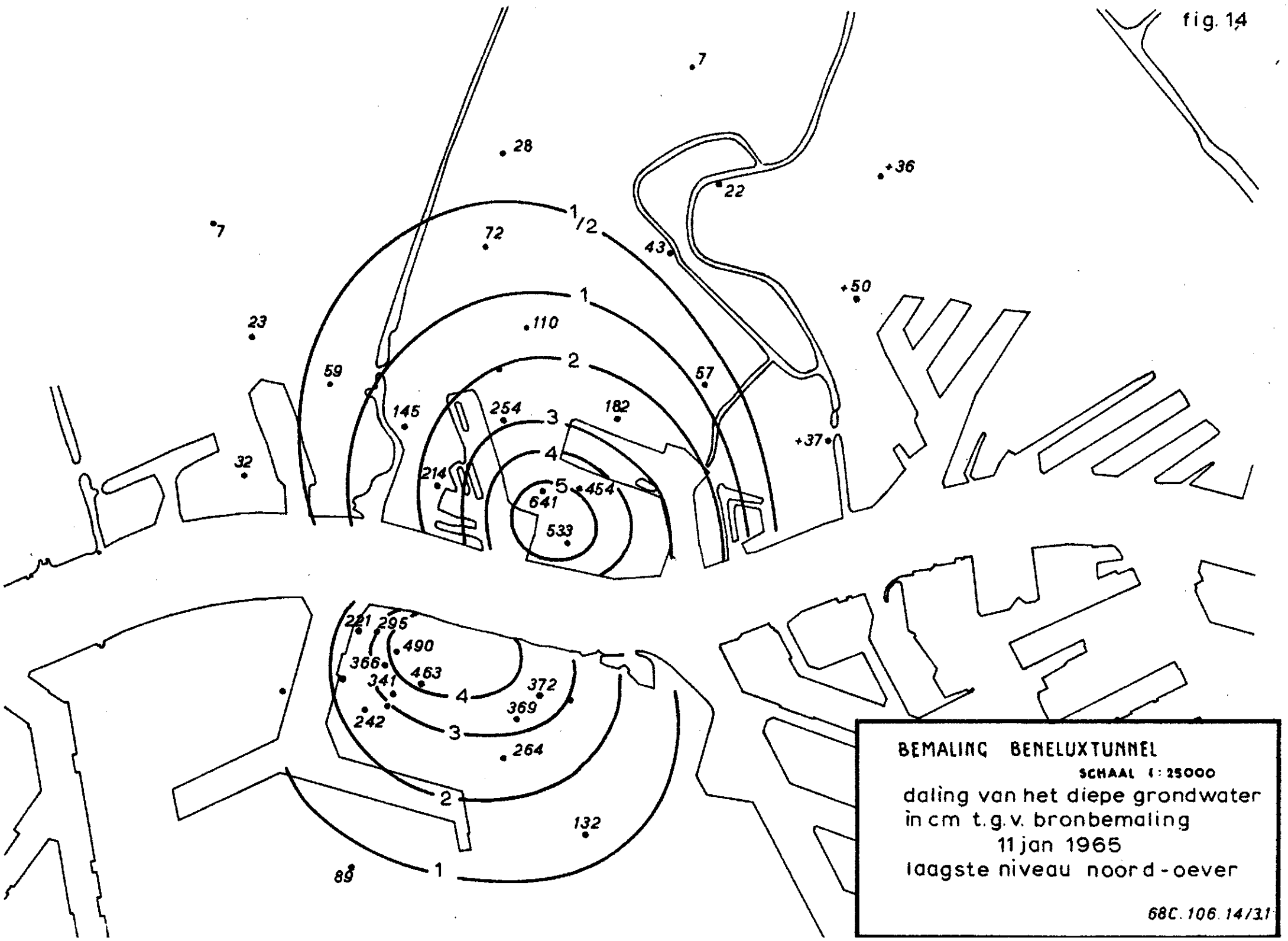


BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1:25000

daling van het diepe grondwater in cm t.g.v. bronbemaling november 1964 periode van ijking beide oevers

68C.106.13/3.1



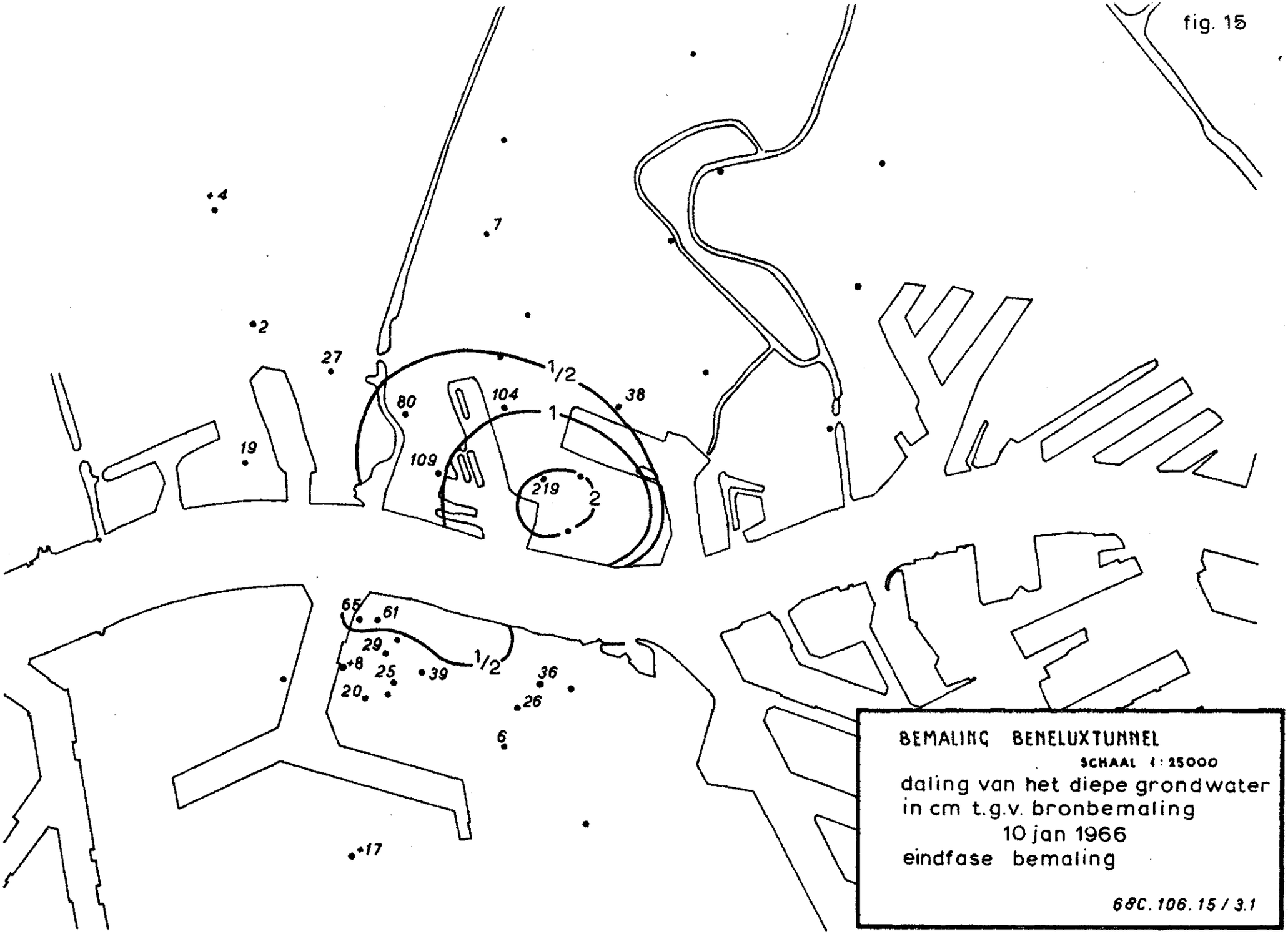
BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1 : 25000

daling van het diepe grondwater
in cm t.g.v. bronbemaling
11 jan 1965
laagste niveau noord-oever

68C.106.14/3.1

fig. 15



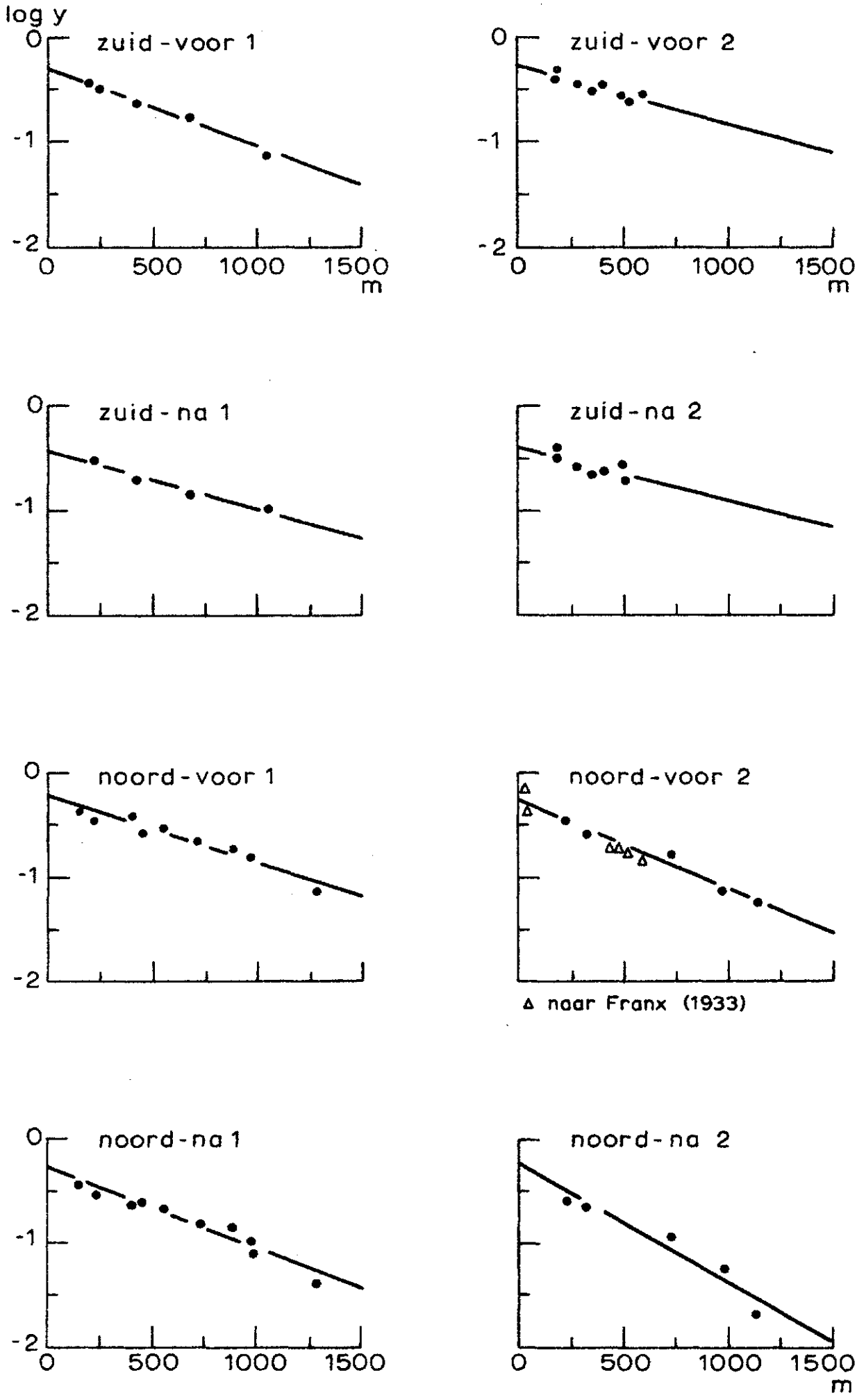
BEMALING BENELUXTUNNEL

SCHAAL 1:25000

daling van het diepe grondwater
in cm t.g.v. bronbemaling
10 jan 1966
eindfase bemaling

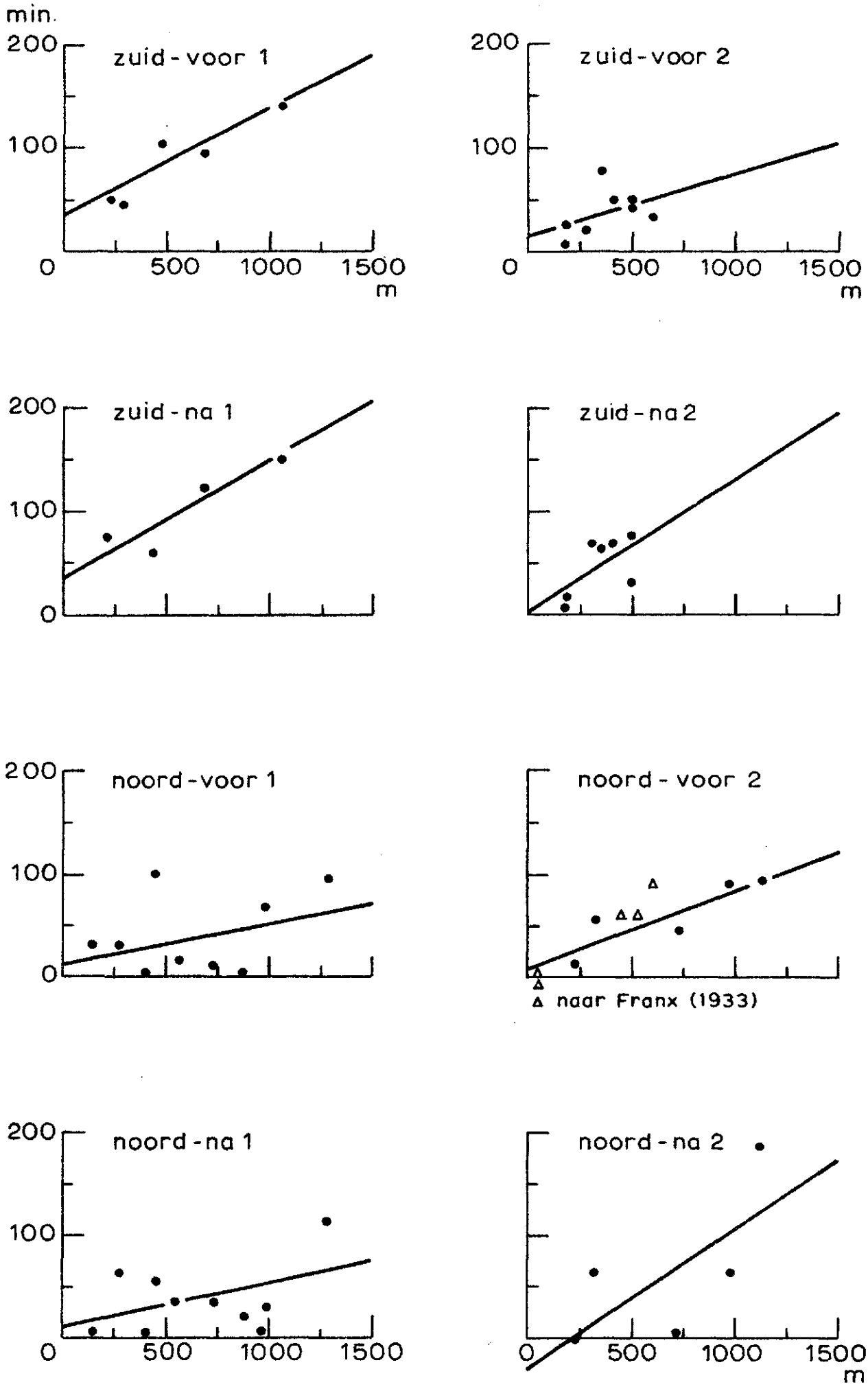
68C.106.15/3.1

Het verband tussen amplitude-verhouding (y) en afstand tot rivier-oever (x : meter)

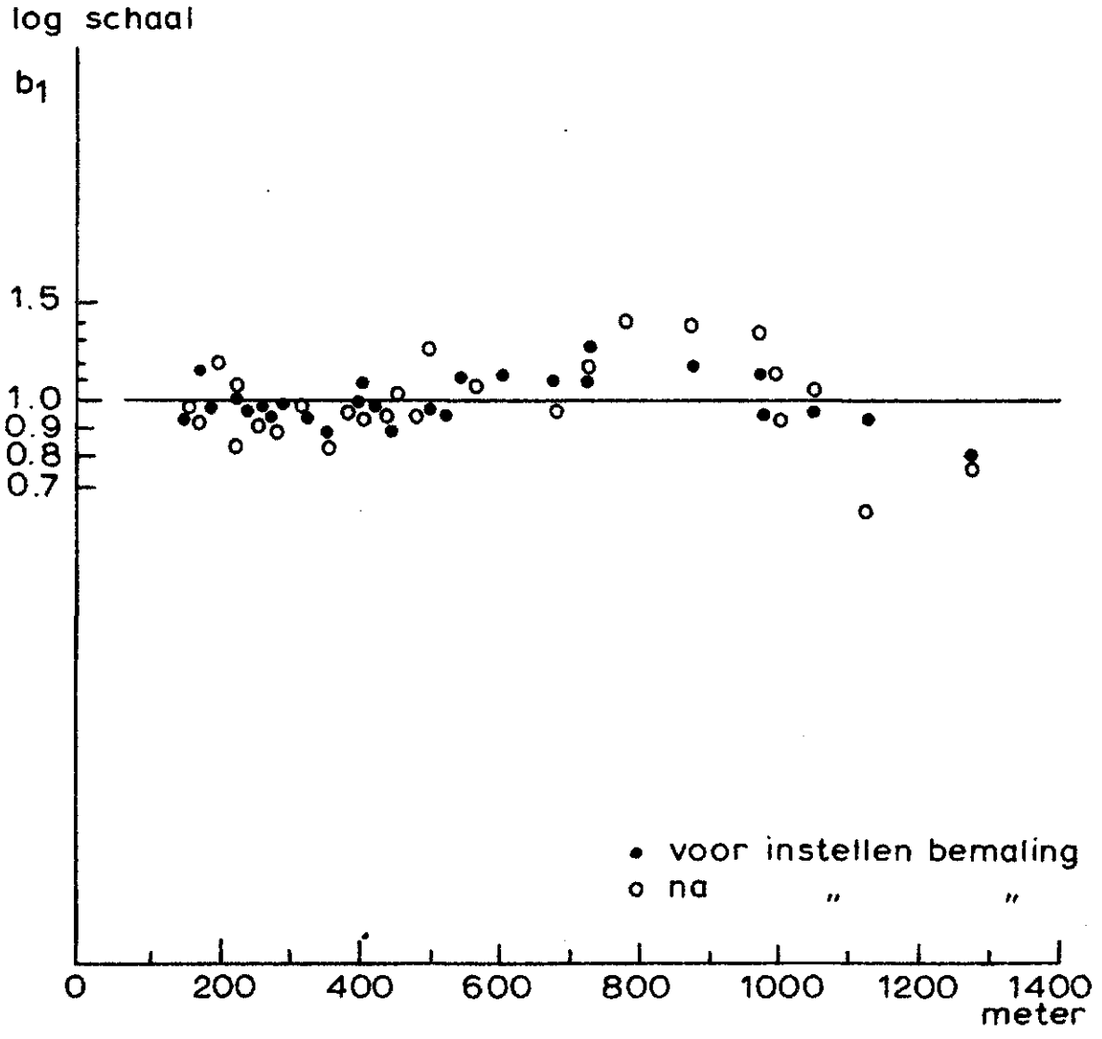


△ naar Franx (1933)

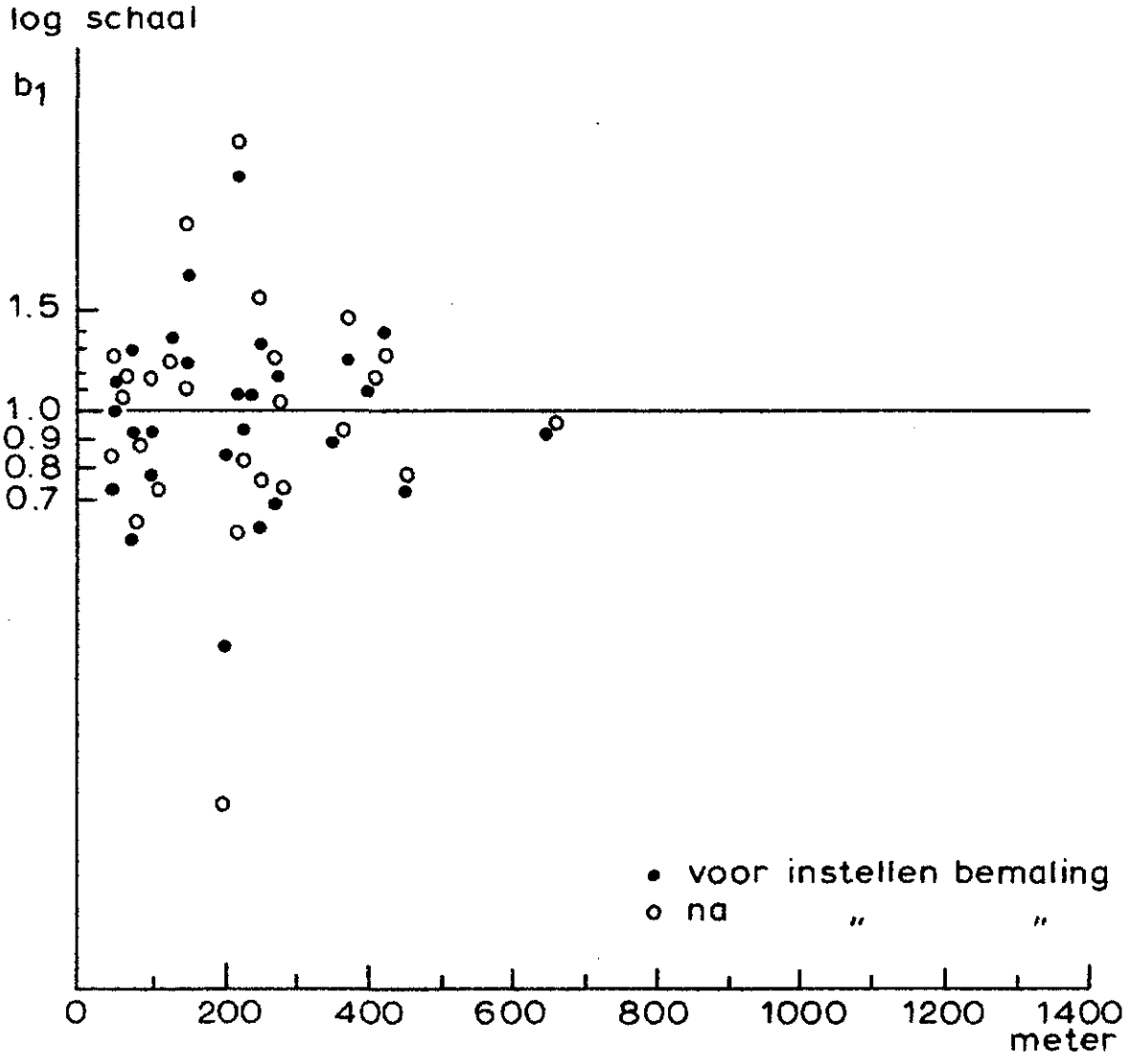
Het verband tussen fasevertraging (y : minuten) en afstand tot rivier-oever (x : meter)



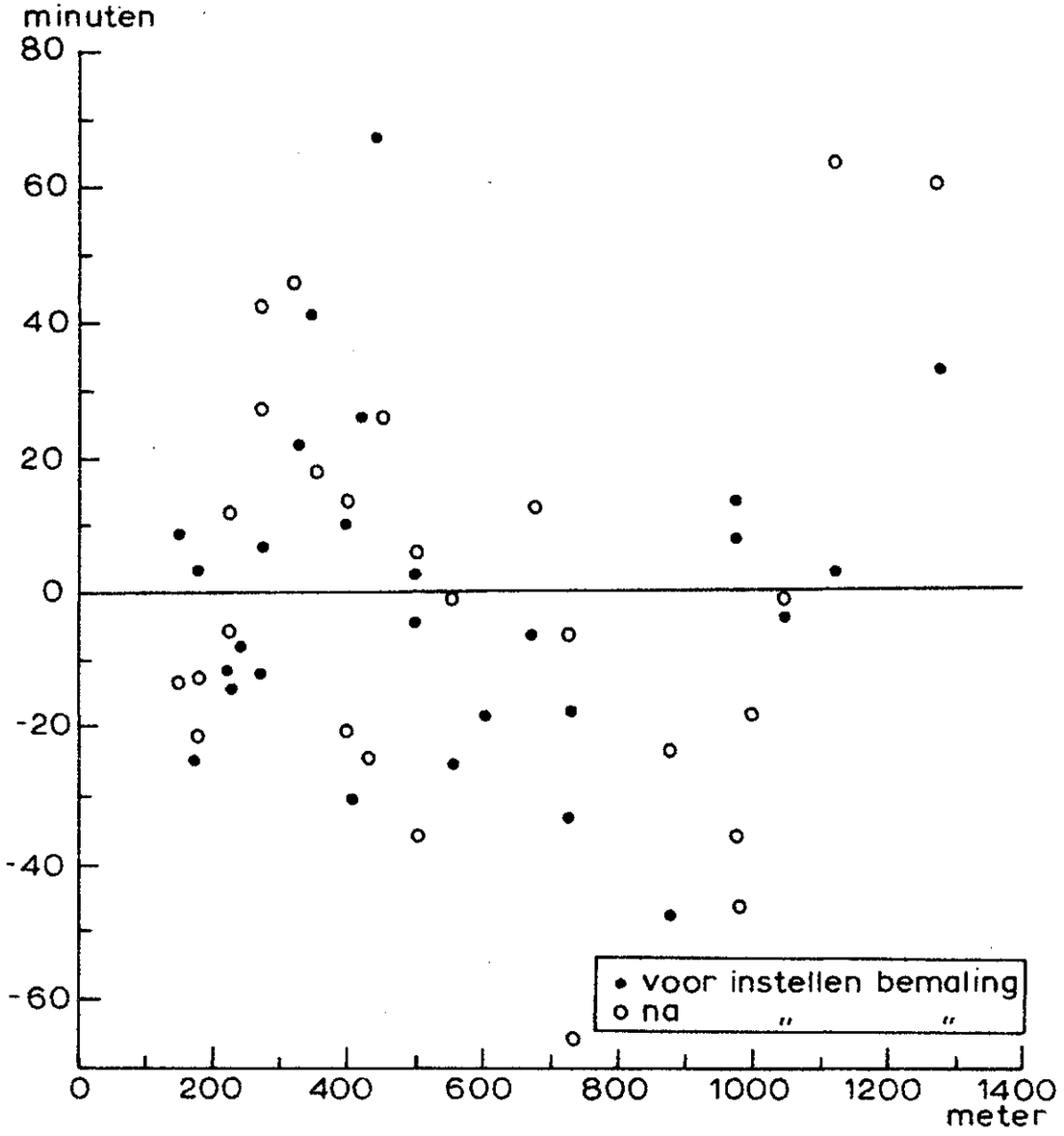
Het verband tussen amplitude-verhouding b_1 en afstand tot de rivier , op beide oevers, uitgedrukt als afwijkingen t.o.v. het lineaire verband



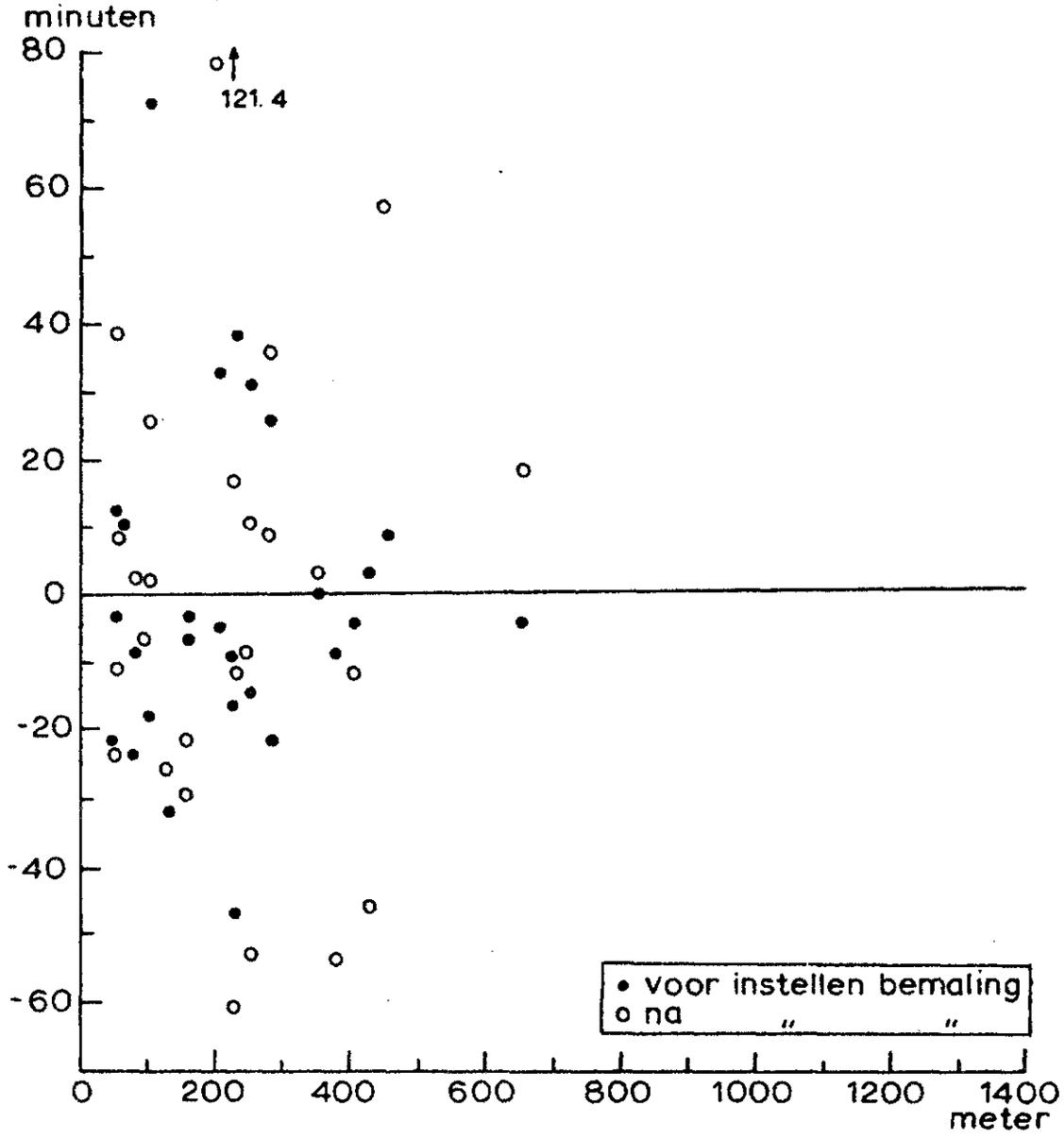
Het verband tussen amplitude-verhouding. b_1 en afstand tot open water, op beide oevers, uitgedrukt als afwijkingen t.o.v. het lineaire verband



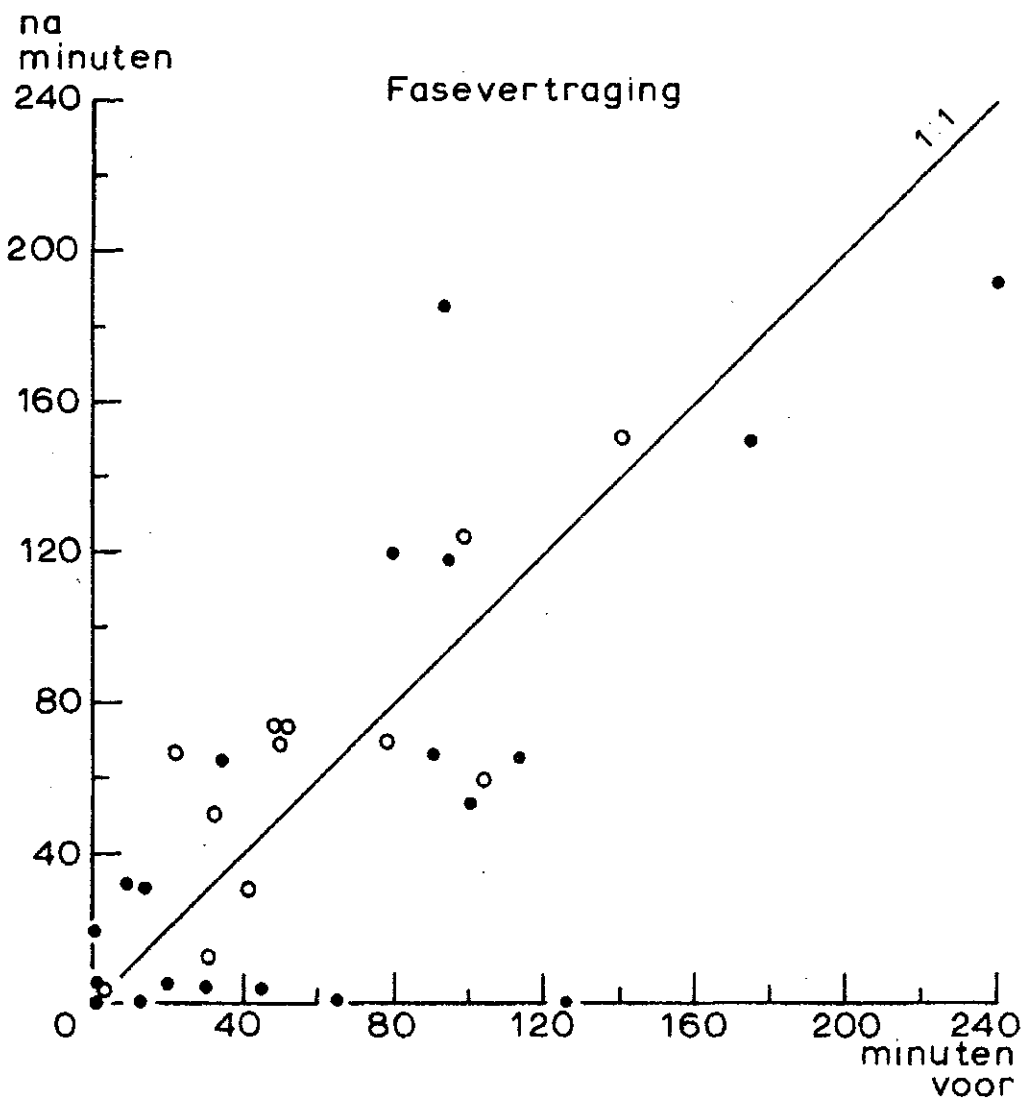
Het verband tussen fase-vertraging en afstand tot de rivier-oever, op beide oevers, uitgedrukt als afwijkingen t.o.v. het lineaire verband

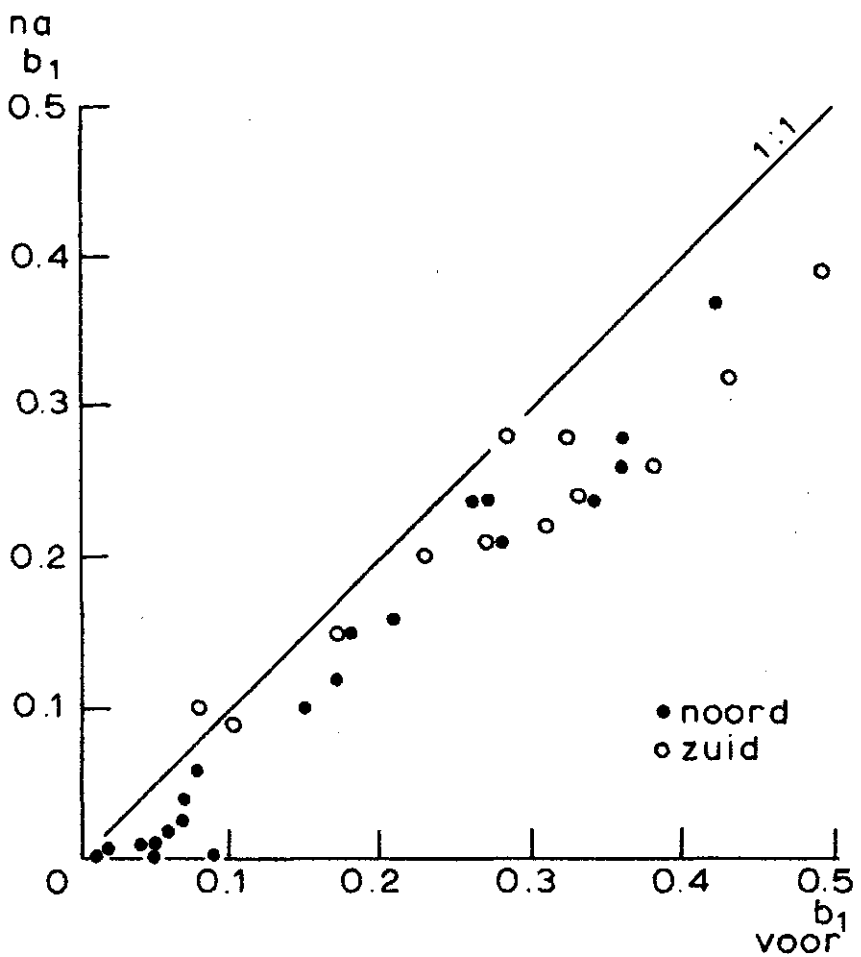


Het verband tussen fase-vertraging en afstand tot open water, op beide oevers, uitgedrukt als afwijkingen t.o.v. het lineaire verband

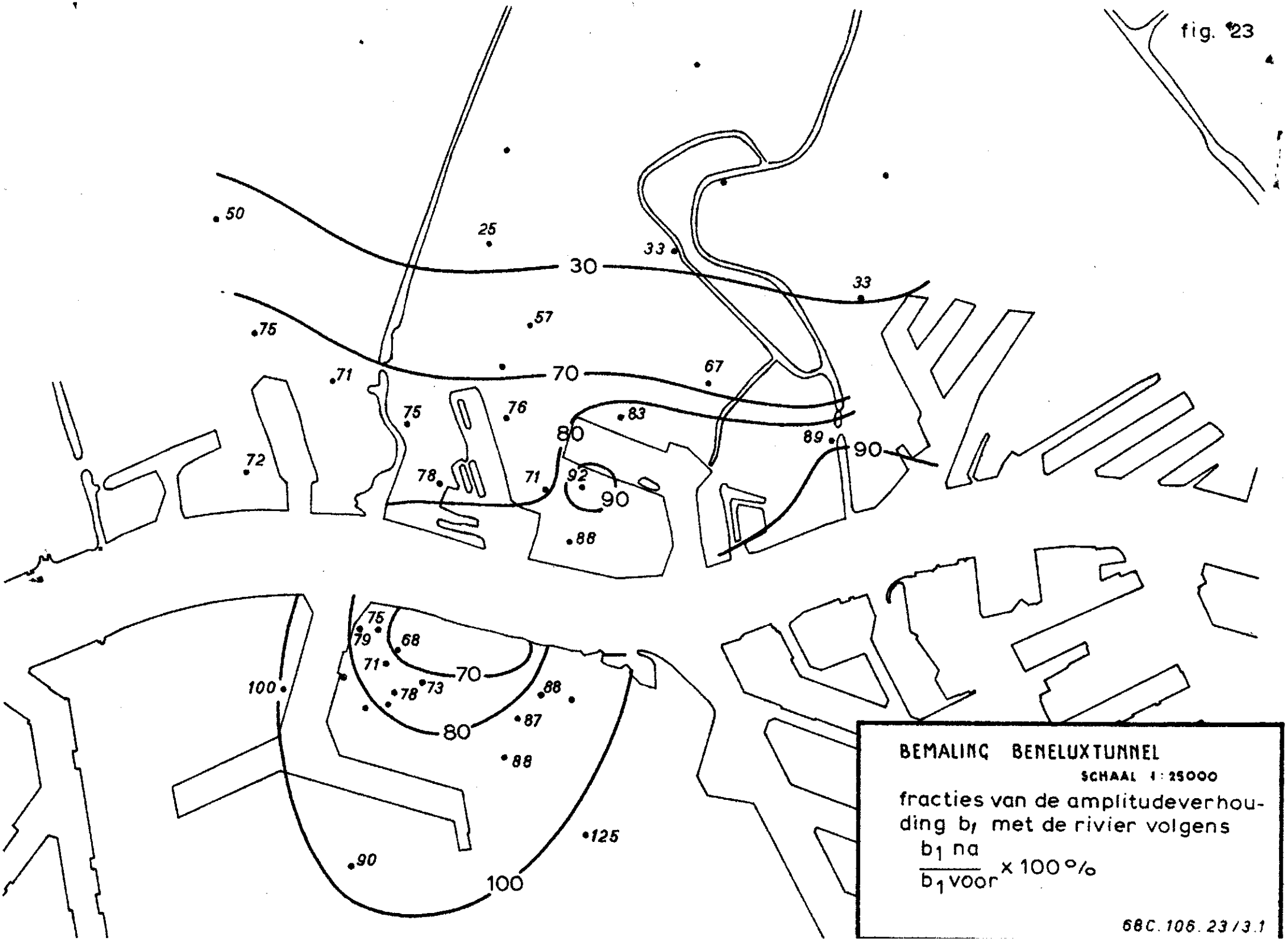


Het verband tussen parameterwaarden berekend voor, resp. na het instellen van de bronbemaling





68C 106.22/3.1



BEMALING BENELUXTUNNEL

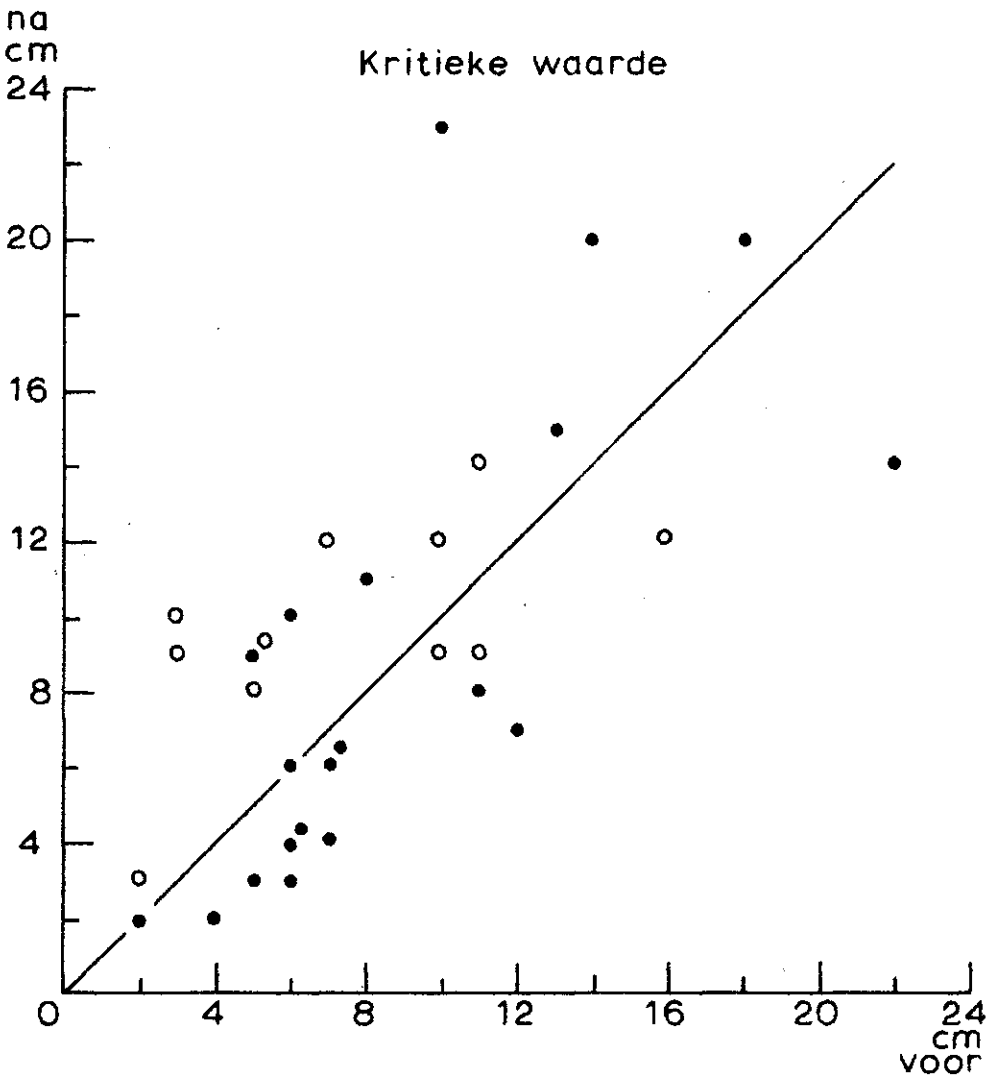
SCHAAL 1 : 25000

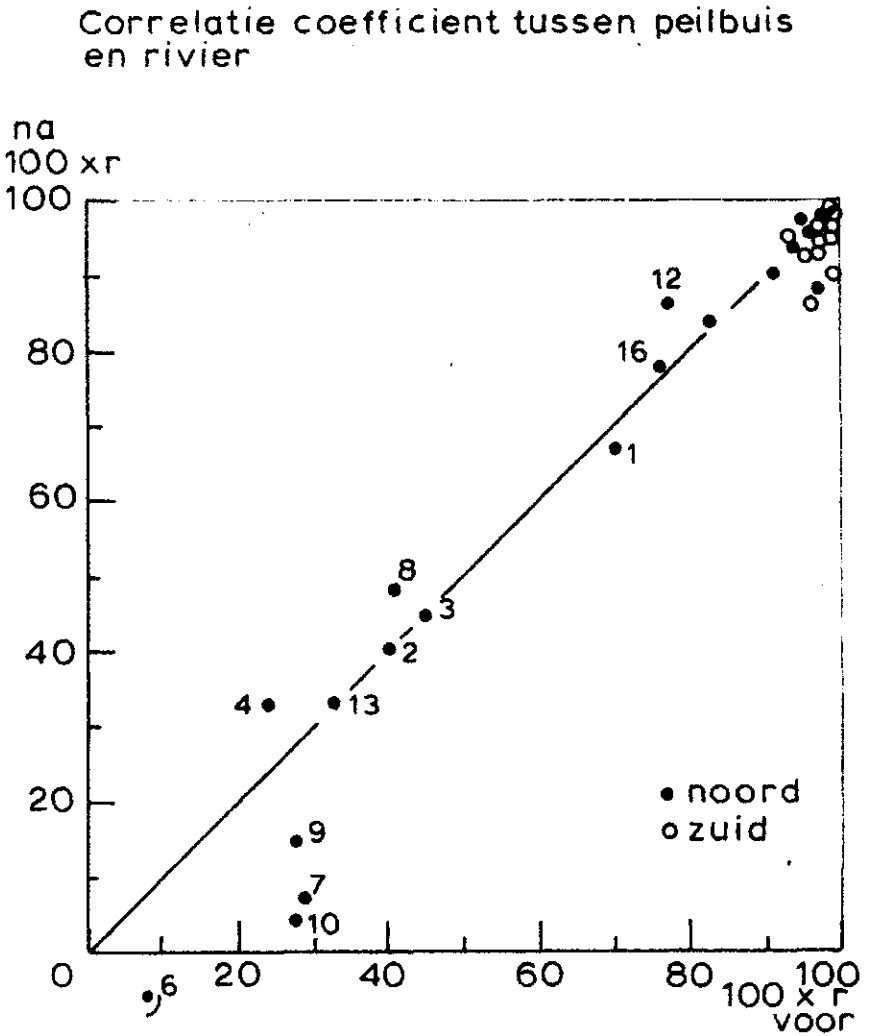
fracties van de amplitudeverhouding b_1 met de rivier volgens

$$\frac{b_1 \text{ na}}{b_1 \text{ voor}} \times 100\,\%$$

68C.106.23/3.1

Het verband tussen parameter waarden berekend voor, resp. na het instellen van de bronbemaling





68C.106.24./3.1