

# RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN VAN DEN RIJKSWATERSTAAT.

N<sup>o</sup>. 15.

INHOUD:

RAPPORT NAAR AANLEIDING VAN DE WERKING  
EENER PROEFINRICHTING TOT VERLAGING VAN  
DEN GRONDWATERSPIEGEL DOOR MIDDEL VAN  
BRONBEMALING EN DE DAARMEDE VERKREGEN  
UITKOMSTEN, OPGEMAAKT DOOR DEN INGENIEUR  
VAN DEN RIJKSWATERSTAAT G. P. NIJHOFF.

---

UITGEGEVEN DOOR HET MINISTERIE  
VAN WATERSTAAT.

---



# INHOUD.

---

	Bladz.
Hoofdstuk I. INLEIDING . . . . .	I
Hoofdstuk II. DE PROEFINRICHTING EN DE DAARMEDE BE- REIKTE RESULTATEN . . . . .	4
A. Beschrijving der proefinrichting . . . . .	4
Bemalingsinrichting . . . . .	5
Waarnemingssysteem . . . . .	7
Inrichting van den waarnemingsdienst. . . . .	9
B. Opstelling der proefinrichting. . . . .	9
C. Werking der proefinrichting . . . . .	11
D. Resultaten der proefinrichting . . . . .	15
Verlaging van den grondwaterspiegel . . . . .	15
Berekening van den coëfficiënt van Darcy . . . . .	18
Bepaling van den straal der invloedssfeer R . . . . .	21
Controle-berekening van waargenomen op- brenghsten . . . . .	22
Voorspelling van de wateropbrengst bij grootere verlaging van den waterspiegel, enz. . . . .	23
Invloed van sterke wassen in de rivier . . . . .	23
Bronnen . . . . .	24
Pompen . . . . .	24
Waarnemingssysteem . . . . .	24
Hoofdstuk III. BEPALING VAN DE VEREISCHE WATEROP- BRENGST DER FUNDEERINGSBEMALINGEN VOOR DE SLEEPSLUI EN VOOR DE STUW TE LINNE . . . . .	26

	A.	Fundeeringsbemaling voor de sluis . . . . .	26
		Gang der berekening van de benooidigde opbrengst . . . . .	28
		Fundeering der hoofden op gewapende of ongewapende betonplaten . . . . .	30
		Bemaling binnen of buiten de damwanden	31
		Algeheele drooglegging van den fundee- ringsput of afzonderlijke drooglegging der hoofden . . . . .	31
	B.	Fundeeringsbemaling van de stuw . . . . .	32
Hoofdstuk IV.		GLOBAL ONTWERP MET RAMING DER KOSTEN EENER BEMALINGSINRICHTING VOOR HET DROOG- LEGGEN VAN DEN SLUISPUT EN DEN STUWPUT	35
	A.	Ontwerp der bemalingsinrichting . . . . .	35
		Watervang . . . . .	35
		Pompinrichting . . . . .	36
		Aandrijving door locomobielen . . . . .	38
		Opstelling van de inrichting . . . . .	38
		Verwijderen van de inrichting . . . . .	39
		Begin van het werk . . . . .	39
	B.	Raming der kosten . . . . .	40
Hoofdstuk V.		CONCLUSIES . . . . .	43
	A.	Waarde van de proefnemingen en van de daarop gebaseerde berekeningen. . . . .	43
	B.	Conclusies . . . . .	44
Hoofdstuk VI.		VERGELIJKING MET ANDERE FUNDEERINGS- METHODES . . . . .	45

# EENIGE TOEPASSINGEN VAN FUNDEERING MET BEHULP VAN VERLAGING VAN DEN GRONDWATERSPIEGEL.

---

## A. IN NEDERLAND.

1. Aanleg van een verzamelriool voor de 's-Gravenhaagsche rioleering in 1898.

Litteratuur: „Methode van fundeering door middel van verlagings van den grondwaterspiegel”, door F. C. J. VAN DEN STEEN VAN OMMEREN. (De Ingenieur 1903, bladz. 289.)

2. Kaaimuren te Scheveningen in 1902.

Litteratuur: „De binnenhaven te Scheveningen”, door P. J. VAN VOORST VADER. (De Ingenieur 1902, bladz. 676.)

3. Rioleering van 's-Gravenhage in 1902.

Litteratuur: Zie boven onder 1.

4. Tweede schutsluis in het Merwedekanaal bewesten Utrecht, 1904—1905.

Litteratuur: „Over den bouw eener tweede schutsluis in het Merwedekanaal bewesten Utrecht”, door A. E. KEMPEES. (De Ingenieur 1906, bladz. 503.)

5. Derde schutsluis te Hansweert 1912—1914.

Litteratuur: „De bemaling van den fundeeringsput van de in aanbouw zijnde derde schutsluis te Hansweert”, door J. A. RINGERS. (De Ingenieur 1914, bladz. 168.)

6. Sluizen 2 en 3 van het Wilhelminakanaal 1915—1917.

Litteratuur: „Enkele mededeelingen omtrent het Wilhelminakanaal”, door C. L. SCHULLER TOT PEURSUM en W. J. H. HARMSSEN. (De Ingenieur 1916, bladz. 682 en 685.)

„Drooghouden van putten door bronbemaling”, door J. HEESTERMAN. (Orgaan der Vereeniging van Opzichters van den Rijkswaterstaat, 1ste jaargang 1917, bladz. 68.)

7. Verkeerstunnel onder het goederenemplacement te Susteren, 1916—1917.

Litteratuur: „Onderdoorgang van gewapend beton onder het spoorwegemplacement te Susteren”, door J. CH. BEGRAM VAN EETEN. (Polytechnisch Weekblad 1918, bladz. 99 e. v.)

## B. IN DUITSCHLAND.

1. Sleepsluizen in het Dortmund—Emskanaal.

Litteratuur: „Grundwasserabsenkungs- und Betonierungs Anlagen beim Bau von Schleppzugschleusen im Emsabstieg des Dortmund—Ems Kanals”, door ZIMMERMANN. „Zeitschrift für Bauwesen” 1913, bladz. 523.

2. Sleepsluizen in den Boven-Oder.

Litteratuur: „Der Bau von Schleppzugschleusen an der oberen Oder von Cosel bis Neiszemündung”, door SCHULTE en HILLEBRAND. „Zeitschrift für Bauwesen” 1914, bladz. 371.

3. Tweede groote sluis te Fürstenwalde.

Litteratuur: „Bau der zweiten groszen Schleuse in Fürstenwalde a.d. Spree”, door SCHECK. „Zentralblatt der Bauverwaltung” 1916, bladz. 337.

4. Nieuwe zeesluizen in het Kaiser Wilhelmkanaal te Holtenau en te Brunsbüttel.

Litteratuur: „Die Betriebseinrichtungen beim Bau der neuen Ostseeschleusen des Kaiser-Wilhelm-Kanals”, door GÄHRS en PRIETZE. „Zeitschrift für Bauwesen” 1913, bladz. 315, 501.

„Die Erweiterung des Kaiser-Wilhelms-Kanals”, door GROTH. „Zentralblatt der Bauverwaltung” 1914, bladz. 373, 390.

5. Nieuwe zeesluis te Emden.

Litteratuur: „Erweiterung des Emdener Hafens”, door ZANDER. „Zeitschrift für Bauwesen” 1914, bladz. 415.

6. Stuw in de Wezer bij Bremen.

Litteratuur: „Die Wasserkraftanlage in der Wezer bei Bremen”, door KÖLLE. „Zentralblatt der Bauverwaltung” 1916, bladz. 161.

7. Tunnels voor ondergrondse spoorwegen te Berlijn.  
Litteratuur: „Senkung des Grundwassers bei Gründung von Bauwerken”, door HIMMER. „Zentralblatt der Bauverwaltung” 1914, bladz. 128, 136.

### C. ANDERE LANDEN.

Toepassingen onbekend. Belangrijke litteratuur niet voorhanden.

### AANBEVELENSWAARDIGE BOEKEN.

„Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten”, door Dr. Ing. WILHELM KYRIELEIS. Berlin 1913, JULIUS SPRINGER (191 bladz., 81 fig. in 3 uitsl. platen).

„Grundwasserabsenkungen für Gründung von Bauwerken”, door Ing. FRITZ BERGWALD, München-Berlin 1917, R. OLDENBOURG (170 bladz., 72 fig).

## HOOFDSTUK I.

### INLEIDING.

Verlaging van den grondwaterspiegel door middel van bronbemaling, met het doel in den droge te kunnen fundeeren, vond in ons land, evenals in Duitschland, allengs een uitgebreide toepassing. Vooral werd van deze bemalingswijze partij getrokken bij de uitvoering van een aantal belangrijke, diep gefundeerde kunstwerken. Met name werden daarmede bij den bouw van verschillende schutsluizen door den Rijkswaterstaat zeer gunstige resultaten bereikt, zoodat er alle aanleiding bestond om een onderzoek in te stellen naar de wenschelijkheid dezer methode bij de uitvoering der eerste belangrijke werken, welke ten behoeve der Maaskanalisation zullen worden uitgevoerd.

De wenschelijkheid kan echter eerst beoordeeld worden, wanneer voldoende gegevens beschikbaar zijn om de voor- en nadeelen van bronbemaling te kunnen afwegen tegen die van andere methoden. De beschikbare gegevens, betreffende verschillende hier te lande uitgevoerde inrichtingen waren daartoe echter onvoldoende. Afgezien van het feit, dat van deze inrichtingen geen methodisch gerangschikt feitenmateriaal ter beschikking stond, daar dit of niet verzameld of niet gepubliceerd werd, zijn de omstandigheden, waaronder eene bronbemaling in het dal van de Maas ten Zuiden van Roermond moet werken, geheel anders dan die welke de reeds uitgevoerde bemalingsinrichtingen beheerschten.

De uitgevoerde inrichtingen waren alle opgesteld in fijnkorreligen, soms met veen en klei vermengden zandgrond met geringe doorlaatbaarheid. Dientengevolge hadden deze inrichtingen een geringe wateropbrengst ten opzichte van de beoogde verlaging van den grondwaterspiegel. (1)

---

(1) De bemalingsinrichting voor den tunnel onder het emplacement der S.S. te Susteren vormde hierop een uitzondering. Voordat de proefinrichting te Linne in werking was, waren hiervan echter geen resultaten bekend

Daarentegen was reeds bij voorbaat uit boormonsters en waarnemingen van den grondwaterstand bekend, dat de toestand te Linne en te Roermond geheel anders was en bemaling zou moeten plaats hebben in een tot groote diepte voorkomend mengsel van grind en zand. (zie fig. 1.) Dat deze ondergrond zeer doorlaatbaar was en dus bij een zelfde verlaging van den grondwaterspiegel een aanzienlijk grootere wateropbrengst te verwachten was dan bij de reeds uitgevoerde inrichtingen, stond vast. Echter waren voor die doorlaatbaarheid geen voldoende nauwkeurige waarden beschikbaar om met behulp daarvan eene bemalingsinrichting te ontwerpen en te begrooten, zoodat het aangewezen was om de noodige gegevens uit proeven te bepalen.

Een van de wegen, die daartoe leidt, is de bepaling van de doorlaatbaarheid door middel van laboratoriumproeven. Deze konden hier echter geen voldoende betrouwbare uitkomsten geven, omdat in de eerste plaats de samenstelling van den ondergrond niet geheel gelijkmatig is en een beperkt aantal grondmonsters geen juist beeld van den ondergrond konden weergeven, en in de tweede plaats omdat bij laboratoriumproeven de juiste ligging der gronddeeltjes, zoodat die in den ondergrond voorkomt, niet kan worden verkregen.

Hier waren pompproeven geboden. Uit de verhouding van de wateronttrekking en de daardoor verkregen verlaging van den grondwaterspiegel zou de doorlaatbaarheid van den ondergrond kunnen worden bepaald en een maatstaf worden verkregen voor het ontwerpen van de groote fundeeringsbemaling.

Pompproeven op bescheiden schaal konden echter niet tot het doel voeren. Een geringe wateronttrekking zou in den doorlaatbaren bodem slechts een kleine verlaging van den grondwaterspiegel ten gevolge hebben. Deze kleine verlaging zoude zeer moeilijk nauwkeurig zijn te meten, omdat, afgezien van waarnemingsfouten, de grondwaterspiegel in het Maasdal sterk wordt beïnvloed door snelle en aanzienlijke wisselingen in den rivierstand. Uit eene verlaging van misschien eenige decimeters waartegenover wisselingen ten gevolge van den rivierstand van eenige meters zouden kunnen staan, zouden geen voldoende nauwkeurige gegevens kunnen worden afgeleid.

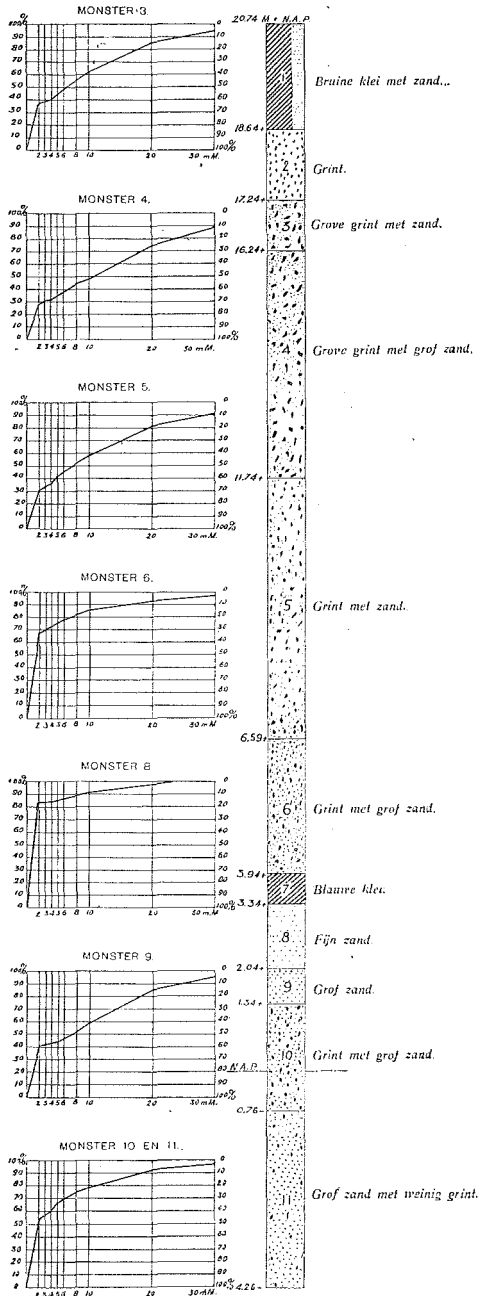
Tegen een proef op bescheiden schaal bestonden echter ook andere bezwaren. Bij het ontwerpen eener fundeeringsbemaling is de hoeveelheid water die aan den bodem moet worden onttrokken,



Overzicht van boring no. 20, welke dicht bij de proefinrichting werd verricht.

De uitkomsten der zeeproeven, genomen op de gepulste grondmonsters, zijn in de diagrammen ter linkerzijde weergegeven.

### BORING N<sup>o</sup>. 20.



FIGUUR 1.

weliswaar maatgevend en dient deze dan ook in de eerste plaats berekend te worden, maar er zijn tal van andere factoren die evenzeer de technische en financieele resultaten van de bemaling beïnvloeden en waarvan kennis noodzakelijk is.

De constructie der bronnen, de invloed van sterke wassen in de rivier op de bemaling, zijn enkele van die factoren die al evenmin als de doorlaatbaarheid van den bodem juist konden worden beoordeeld met behulp van de voorhanden gegevens van andere inrichtingen of met een pompproef op bescheiden schaal.

Het onderzoek zou dus moeten plaats hebben met behulp eener volledige inrichting voor bronbemaling. Daarmede zoude het waarschijnlijk mogelijk blijken dusdanige ervaringen met de inrichting op te doen, dat de vermindering van het risico der drooglegging van de fundeeringsputten grooter zou zijn dan de kosten dezer proefneming.

De resultaten wezen uit dat reeds enkele ondergeschikte ervaringen de vrij aanzienlijke kosten van de proefneming goedmaakten, zoodat deze het daarvoor uitgegeven bedrag ruimschoots is waard geweest.

## HOOFDSTUK II.

### DE PROEFINRICHTING EN DE DAARMEDE BEREIKTE RESULTATEN.

#### A. BESCHRIJVING DER PROEFINRICHTING.

De werken, welke ten behoeve van de Maaskanalisatie het eerst zullen worden uitgevoerd, zijn een stuw en een sluis onder de gemeente Linne (zie fig. 2).

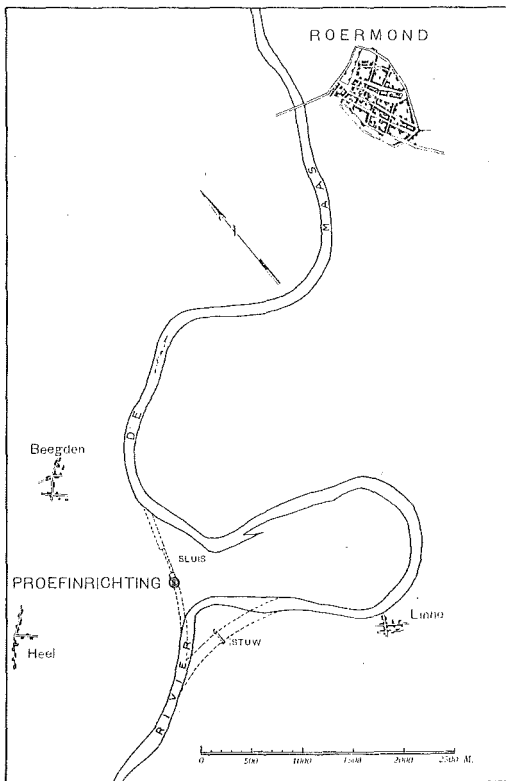
Voor het opstellen eener proefinrichting leende zich bij uitstek de omgeving der sluis.

De as der sluis verbindt begin- en eindpunt eener in rechte strekking bijna 6 K.M. lange luschocht van de Maas. De kortste afstand tusschen de sluisput en het bovenstreamsche deel der bocht bedraagt ongeveer 460 M., tot het benedenstreamsche deel der bocht ongeveer 420 M., terwijl zich op ongeveer 1200 M. ten westen der rivier hooge zandgronden bevinden, welke het Maasdal begrenzen en daaraan grondwater toevoeren. De plaats der inrichting werd bepaald een weinig ten westen van de as der sluis en wel zoover ten zuiden (stroomopwaarts) van het bovenhoofd dat de fundeeringsgrond van dat hoofd niet door het werk werd beroerd.

De proefinrichting had in de eerste plaats ten doel het verband te leeren kennen tusschen eene aan den grond onttrokken hoeveelheid water en de daaruit voortspruitende verlaging van den grondwater-spiegel. Is dit verband bekend dan is het mogelijk bij eene gewenschte verlaging van het grondwater de daarvoor noodige wateronttrekking te bepalen, welk vraagstuk de kern vormt van de berekening eener fundeeringsbemaling.

De proefinrichting bestond mitsdien uit:

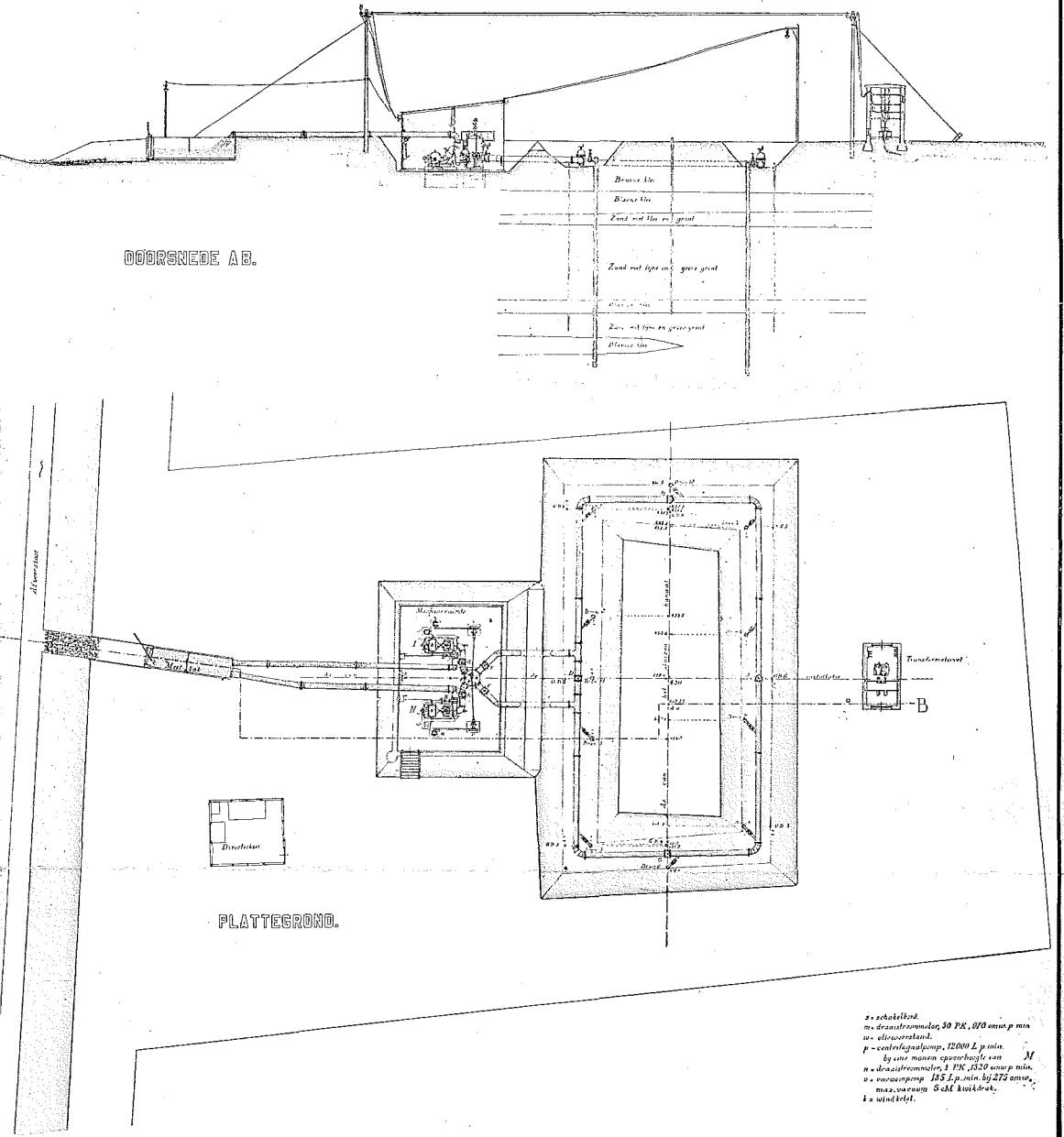
- (a) eene bemalingsinrichting.
- (b) een waarnemingssysteem.



FIGUUR 2.  
 Situatie der proefinrichting.

# PROEFINSTALLATIE VOOR BRONBEMALING

## TE LINNE.



Opgeleverd in de fabriek gebouwd door den Staat  
 van den Rijkswaterdienst, 22 van 2. 1900.

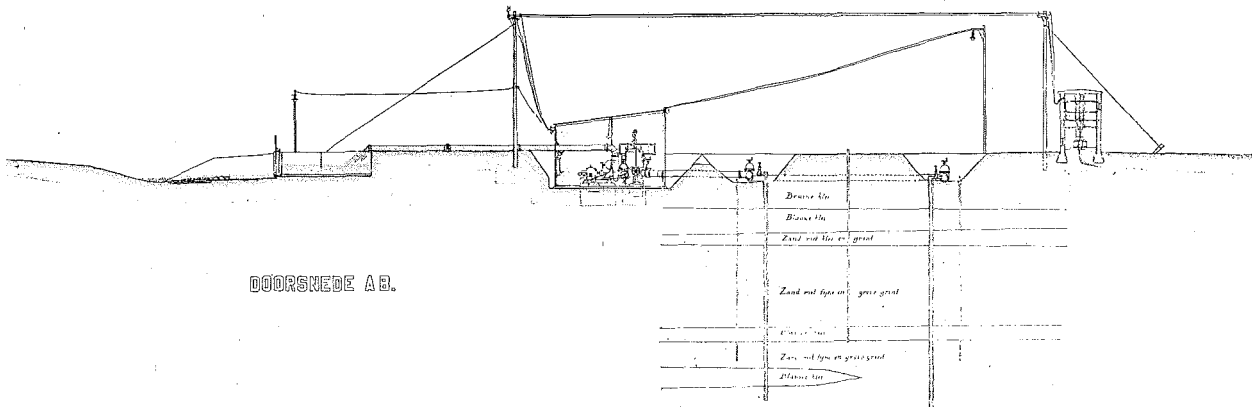
FIGUUR 3.

Doorsnede over en plattegrond van de proef-installatie.

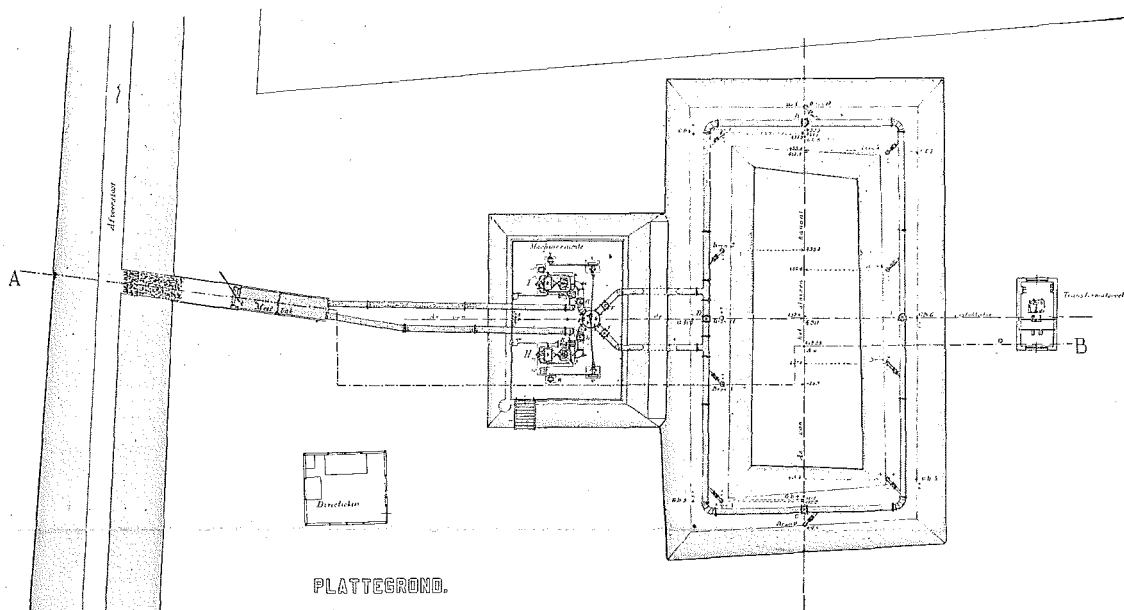
(Door verkleining van de oorspronkelijke teekening is de schaal ongeveer 1 op 400 geworden)

# PROEFINSTALLATIE VOOR BRONBEMALING

## TE LINNE.

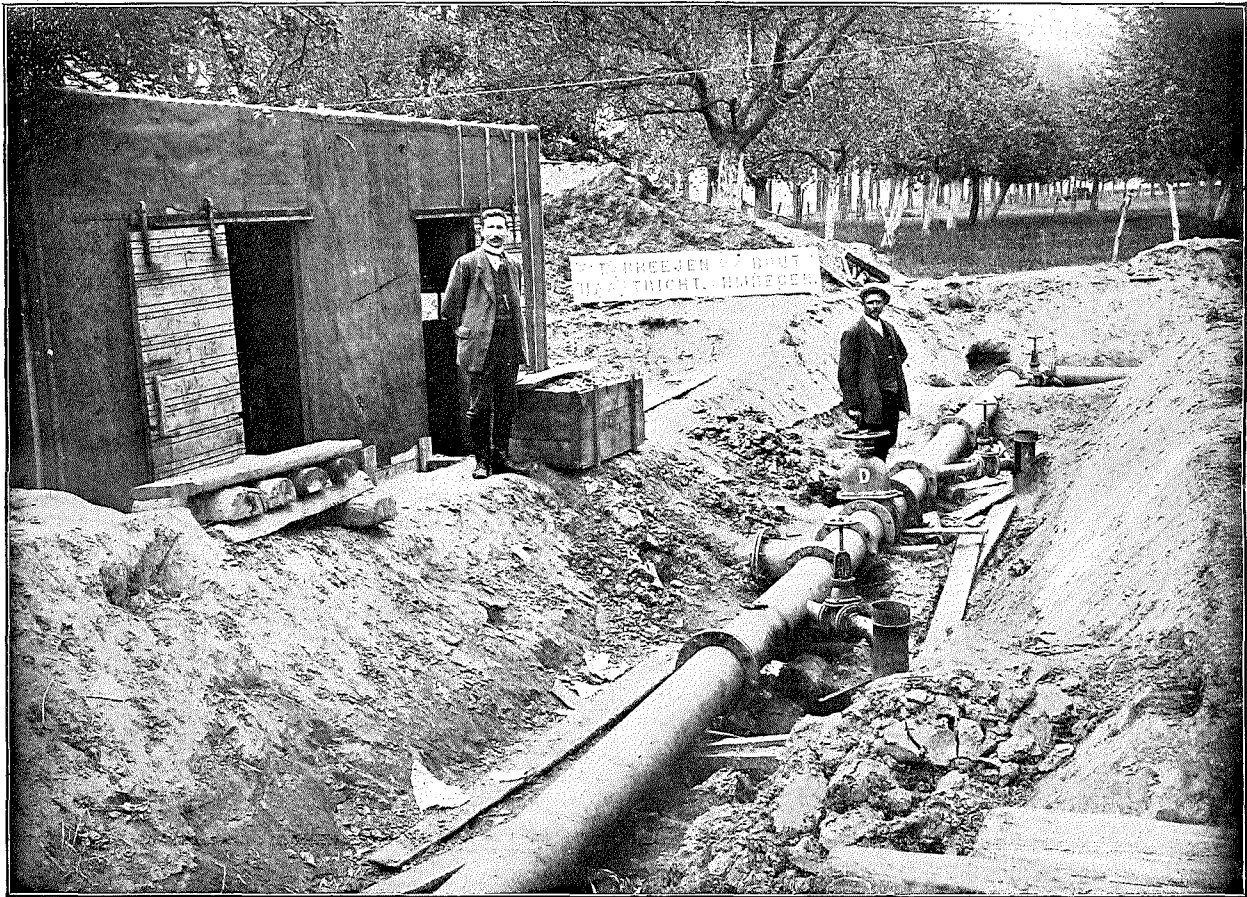


DOORSNED E A.B.



PLATTEGROND.

s = schakelbord  
 m = draaistroommotor, 20 PK, 0,70 omw p min  
 m = draaistroommotor  
 p = centrifugaalpompe, 12000 L p min  
 b = een manometer, 1 PK, 1500 omw p min  
 n = draaistroommotor, 1 PK, 1500 omw p min  
 e = centrifugaalpompe, 100 L p min bij 275 omw p min  
 m = draaistroommotor, 5 PK, 1500 omw p min  
 k = uitsteking



FIGUR 4. - GEDEELTE DER RINGLEIDING MET DE BRONNEN 1, 2 EN 3 EN AFTAKKING NAAR DE POMPEN.

**Bemalingsinrichting.** Van de bemalingsinrichting, (zie fig. 3), bestaande uit een «watervang» en een «pompinrichting», omvatte de eerste: 8 (later 10) bemalingsbronnen, alle verbonden met eene rondgaande zuigleiding, uitmondende in een windketel.

De pompinrichting werkend op den windketel, bestond uit twee centrifugaalpompen, elk verbonden met eens persleiding.

De bronnen werden geplaatst in twee, op 8 M. onderlingen afstand gelegen, evenwijdige rijen van vier stuks (zie fig. 4). De onderlinge afstand der bronnen in de rijen bedroeg ongeveer 6 M. De twee later aangebrachte bronnen werden geplaatst aan elk der korte zijden van de ringleiding, midden tusschen de twee rijen van vier bronnen. Voor de bronnen was eene groote lengte, nl. van 12 M. gekozen met de bedoeling het water zooveel mogelijk te onttrekken aan de grondlagen welke door eene eventueele fundeeringsinrichting zouden worden bemalen.

De bronnen bestonden uit ijzeren buizen, inwendig wijd 20 c.M., aan het benedeneind gesloten en over de onderste 5 M. lengte voorzien van ronde gaten van 2 c.M. wijdte, waarvan er 800 op de M<sup>2</sup>. kwamen. Voorgescreven was dat het geperforeerde gedeelte moest worden omwonden met vertind tressengaas van 215 mazen per c.M<sup>2</sup>. Daar dit en grover gaas niet te verkrijgen was, werd toegestaan dat fijner gaas met het dubbele aantal mazen werd gebruikt.

Voor het plaatsn van eener bron werd eerst eene 30 c.M. wijdte buis ingepulst, waardoor tevens de aard der uitgepulste grondlagen en hare diepteligging goed beoordeeld konden worden. Nadat de pulsbuizen tot ongeveer 7.50 M. + N.A.P. waren ingezonken, wat vooral in den beginne, toen het daarvoor gebruikte personeel nog weinig vertrouwd was met het pulsen in de grove grind, uiterst langzaam geschiedde, werden de bronbuizen er concentrisch ingeplaatst en over de geheele hoogte omgeven met grof grindzand. Daarna werden de pulsbuizen uitgetrokken.

In elke bron werd een ijzeren zuigbuis gebracht, inwendig wijd 10 c.M. waarvan de onderkant ongeveer 75 c.M. verwijderd werd gehouden van den bodem der bronbuis. De zuigbuizen mondden onder een hoek van 45° meestroomend in de hoofdzuigleiding uit en konden door afsluiters elk afzonderlijk worden afgesloten.

Daar «afslaan» der bronnen door te lagen waterstand in de bronnen niet werd geducht, waren geen voetventielen aan de ondereinden



der zuigbuizen voorgeschreven. Zij werden echter door den aannemer ten overvloede aangebracht, maar werden later verwijderd, omdat zij de wateropbrengst aanzienlijk verminderden.

De hoofdzuigleiding was inwendig 30 c.M. wijd, en steeg onder een helling van 3 m.M. per M. naar de pompen toe ten einde den afvoer van eventueel meegevoerde lucht en gassen naar den windketel te vergemakkelijken.

Door vier afsluiters, elk geplaatst in het midden van een der zijden van de ringleiding, was het mogelijk een vierde deel daarvan uit te schakelen zonder het overige deel buiten bedrijf te stellen.

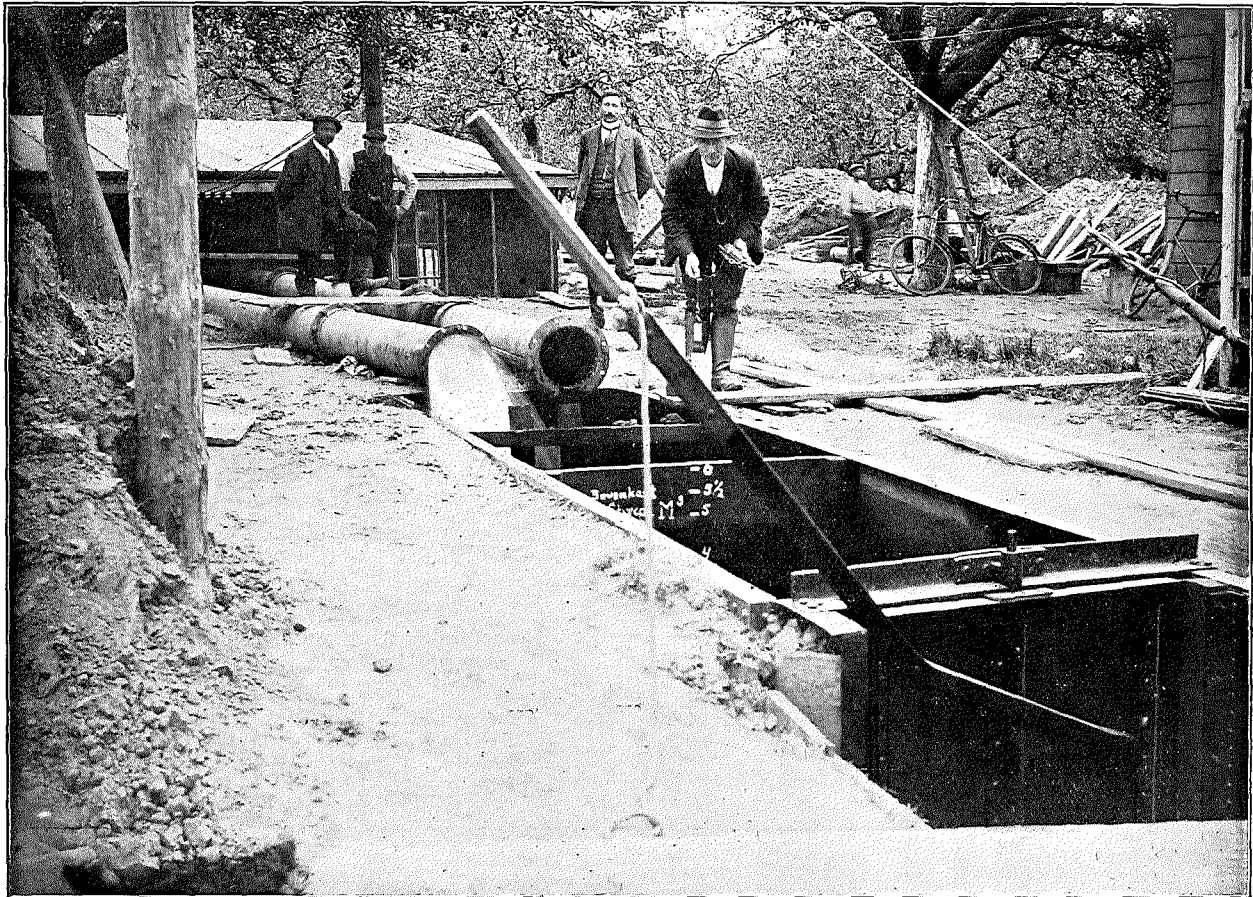
Om dezelfde reden sloot de hoofdleiding met tusschenschakeling van afsluiters door twee buizen bij den windketel aan. Deze laatste had een diameter van 0,9 M. en een hoogte van 1,60 M. en was voorzien van peilglas en manometer. Op den windketel sloten aan de bovenzijde, met tusschenschakeling van afsluiters en ventielen, twee luchtzuigleidingen aan, welke beide afzonderlijk in verbinding stonden met een luchtpomp van 185 L. capaciteit per seconde, elk met riemoverbrenging aangedreven door een electromotor van 1 P.K.

Onder uit den windketel voerden twee 30 c.M. wijde buizen naar twee centrifugaalpompen, voorzien van 30 c.M. wijde persleidingen. Zoowel tusschen windketel en pompen als tusschen persleidingen en pompen waren afsluiters aangebracht.

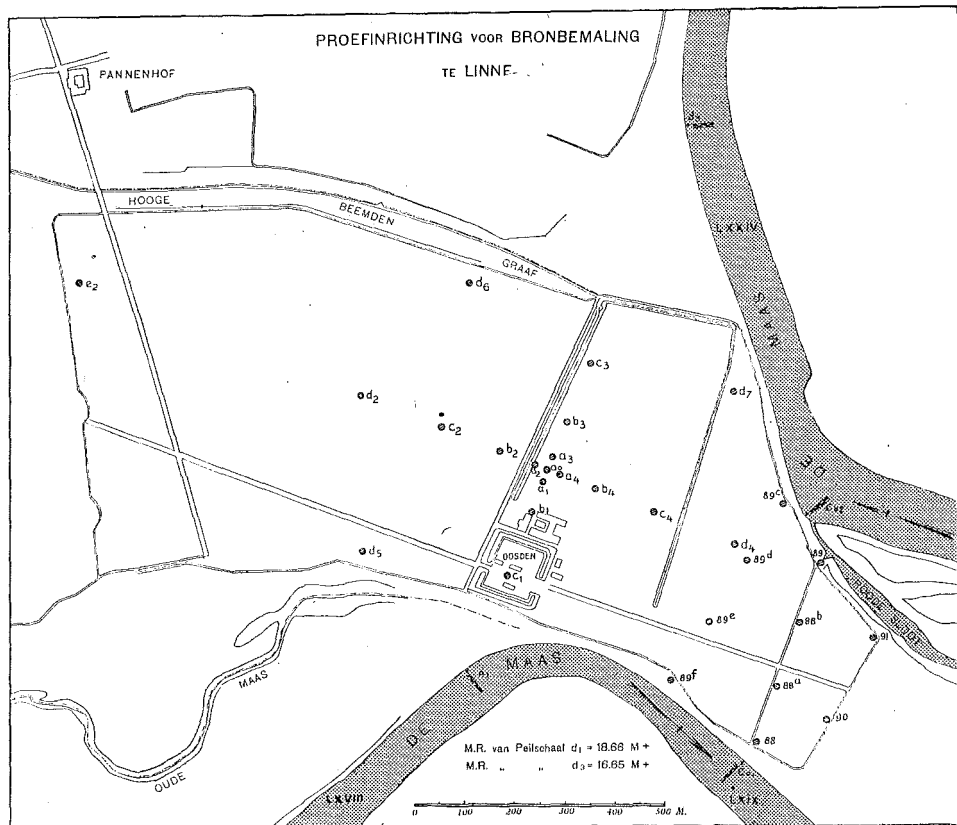
Omtrent de pompen was voorgeschreven dat het moesten zijn centrifugaalpompen, elk in staat voor den ganschen duur van den werkingstermijn 200 L. water per seconde 8,50 M. hoog op te voeren. Opgesteld werden twee centrifugaalpompen afkomstig uit een bekende Duitsche fabriek, welke echter niet in staat bleken de gewenschte hoeveelheid op te voeren.

Daar bij deze proefneming eischen van bedrijfszekerheid niet zoozeer op den voorgrond traden als dit het geval zou zijn geweest bij een fundeeringsbemaling, was de keuze der beweegkracht van betrekkelijk ondergeschikt belang en werd de uitvoerende firma daarin, behoudens goedkeuring door de Directie, geheel vrijgelaten.

De keuze viel op elektrische aandrijving, waarbij stroom betrokken werd van de Staatsmijnen door middel van een 3200 M. langen kabel, welke bij het dorp Linne aansloot op het net der Stroomverkoopmaatschappij. Deze kabel kruiste de rivier bij het dorp Linne en eindigde in een transformatorhuisje bij de bemalingsinrichting waar de



FIGUR 5. - UITMONDING DER PERSBUIZEN EN DOOR TOLDEUR AFGESLOTEN MEETBAK.



FIGUUR 6.

Situatie der waarnemingsbuizen.

draaistroom van 10 500 Volt op 220 Volt getransformeerd werd en naar het schakelbord in de machinekamer werd gevoerd.

Een dergelijke uitrusting ware voor een fundeeringsbemaling onvoldoende geweest. Met het oog op de groote belangen welke daarbij door een storing van slechts enkele minuten kunnen worden geschaad, zou verbinding met het net der S.V.M. door eene ringleiding wel iets meer zekerheid hebben gegeven, maar ware het voor volkomen bedrijfszekerheid toch geboden een onder stoom staande locomobiel als reserve aanwezig te hebben, welke zonder tijdverlies het pompbedrijf zou kunnen overnemen.

Tijdens den korten duur der bemaling kwamen storingen inderdaad eenige malen voor. Hare oorzaak lag steeds buiten de bemalingsinrichting zelve en wel in het net der Stroomverkoopmaatschappij of bij de centrale der Staatsmijnen.

Zooals echter werd vermeld waren bij de proefbemaling geen belangen in het spel welke door die storingen konden worden geschaad.

**Het waarne-** Bij de keuze van een middel om de wateropbrengst te **mingssysteem.** bepalen, moest er rekening mede worden gehouden dat eenvoudige arbeiders te allen tijde, ook 's nachts, de opbrengst nauwkeurig moesten kunnen bepalen. Daarom werd voorgeschreven dat de persbuizen der pompen het water vrijloozend moesten storten in een meetbak ter grootte van ongeveer  $6\frac{3}{4} M^3$ . (zie fig. 5). Deze bak was aan eene zijde voorzien van een toldeur met verticale as; in het midden was een verticaal schot aangebracht, dat aan den onderkant eene doorstroomopening vrij liet en de waterbeweging zoodanig temperde, dat aan de stroomafwaartsche zijde van het schot op een daar aangebrachte verdeelschaal de aflezing van het aantal  $M^3$ . water dat de bak bevatte, zeer goed mogelijk was. De toldeur was voorzien van een hefboom en daardoor snel en gemakkelijk door één man te openen en te sluiten.

Tegen dit voordeel woog het nadeel van lekken niet op omdat de lekwaarde nauwkeurig door proeven kon worden bepaald.

De stand van het grondwater werd bepaald door een stelsel van waarnemingsbuizen (fig. 6).

Deze waren geplaatst op twee onderling loodrechte assen; de eerste viel samen met de as van het sluizenkanaal, de tweede sneed de eerste as in het middenpunt der installatie.

Bovendien waren op elk der lijnen welke de hoeken tusschen deze twee hoofdrichtingen middendoor deelden nog enkele buizen geplaatst.

Ongeveer in het middenpunt der installatie bevond zich de buis  $a_0$ ; op een cirkel met een straal van 25 M. beschreven om het middenpunt waren de  $a$ -buizen geplaatst. Op 100 M. afstand van  $a_0$  bevonden zich de  $b$ -buizen; op 225 M. afstand de  $c$ -buizen, op 400 M. afstand de  $d$ -buizen terwijl in de richting der hooge gronden op 1000 M. afstand eene  $e$ -buis was geplaatst. Van deze maten moest bij de buizen  $a_0$  en  $b_1$  eenigszins worden afgeweken.

Voor de waarnemingsbuizen werd gebruik gemaakt van inwendig 5 c.M. wijde gasbuizen, van onder toegespitst en daar voorzien van gaten. Zij waren van boven voorzien van schroefdraad waarop een deksel paste, dat kon worden vastgezet met behulp van een bout met sleutel (zie fig. 7).

De buizen werden in den grond geheild.

De  $a$ -buizen stonden 10 M. diep in den bodem, de  $b$ -buizen 6 M., de  $c$ -buizen 5 M., de  $d$ -buizen 4 M. en de  $e$ -buizen 4 M.

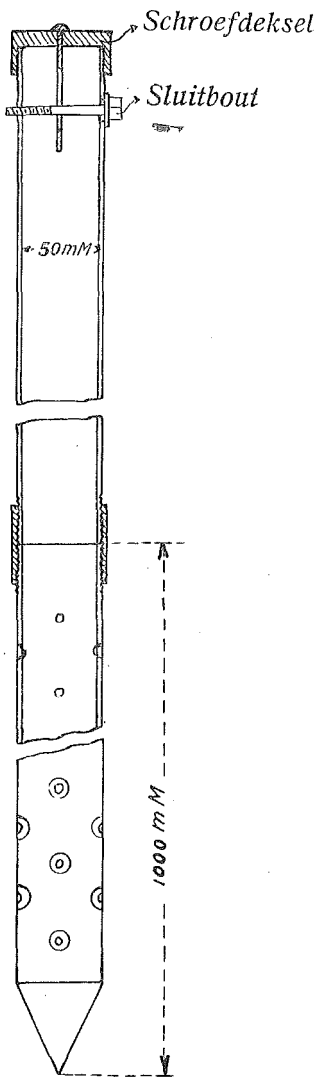
Op de snijpunten van de hoofdas der inrichting met de rivier waren peilschalen geplaatst, genaamd  $d_1$  en  $d_3$ , terwijl 600 M. stroomafwaarts van  $d_1$  en 800 M. stroomafwaarts van  $d_3$  twee contrôlepeilschalen  $co_1$  en  $co_2$  waren opgesteld.

In de onmiddellijke nabijheid der inrichting waren een achttal buizen geplaatst aangeduid als  $Gb_1$  tot  $Gb_8$  waardoor het mogelijk was de stand van het grondwater in de onmiddellijke nabijheid der bronnen te bepalen.

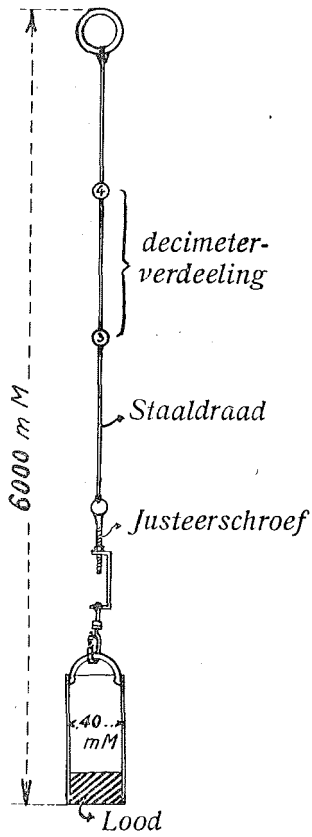
Behalve in al deze waarnemingsbuizen werd de waterspiegel in de bronbuizen gepeild, zoodat de geometrische opvoerhoogte der pompen kon worden bepaald.

Door vergelijking der waterstanden in de bronnen en in de onmiddellijk daar buiten geplaatste  $Gb$ -buizen kon de weerstand der bronfilters beoordeeld worden.

Het bepalen van den waterstand in de grondwaterbuizen geschiedde met behulp van peil-emmertjes (zie fig. 8) bevestigd aan een nauwkeurig verdeelden draad ten opzichte van den gewaterpasten bovenrand van de waarnemingsbuis. Met eenige oefening is met deze peilemmertjes een voldoende nauwkeurigheid te bereiken terwijl het gereedschap eenvoudig en degelijk is.



FIGUUR 7.



FIGUUR 8.

Waarnemingsbuis en peilemmertje.

Met behulp van meetbak en buizenstelsel kon dus te allen tijde zoowel de wateropbrengst als de stand van het grondwater worden bepaald.

Ter beoordeeling van de werking der bemalingsinrichting zelf stonden verschillende gebruikelijke meetinstrumenten als: wattmeter, ampèremeter, manometer enz. ten dienste.

**Inrichting** De stand van het grondwater ter plaatse der be-  
**nemingsdienst.** malingsinrichting wisselt snel en aanmerkelijk onder den invloed van den rivierstand en de toestrooming van grondwater uit de hooge gronden. Daarom kon met een gering aantal opnemingen van den grondwaterspiegel niet worden volstaan en werd de waarnemingsdienst zoodanig geregeld, dat tijdens de werking der inrichting elke waarnemingsbuis en peilschaal elk uur werden waargenomen, terwijl eveneens elk uur de wateropbrengst werd bepaald.

Voor deze waarnemingen waren drie ploegen noodig van 4 man, welke 8 uur per etmaal werkzaam waren, terwijl drie opzichters toezicht hielden, de waarnemingen controleerden en ze in de registers verwerkten.

## B. OPSTELLING DER PROEFINRICHTING.

Den 28sten October 1915 werd opgemaakt eene onderhandsche overeenkomst wegens het te Linne opstellen, in werking brengen en houden van proefinrichting tot verlaging van den grondwaterspiegel met de firma T. DEN BREEJEN VAN DEN BOUT te Nijmegen, welke overeenkomst 6 November 1915 werd goedgekeurd.

De datum van aanvang werd bepaald op 15 November 1915, de datum van oplevering op 13 Februari 1916.

Door de directie werden tusschen 18 Augustus 1915 en 21 November reeds verschillende waarnemingsbuizen geplaatst.

De aannemersfirma ondervond vertraging bij het aanschaffen van de noodige toestellen en machines; zij vroeg en verkreeg verlenging van den opleveringstermijn tot 14 Maart 1916. De oplevering had plaats 6 Mei 1916.

Den 23sten December 1915 werd met één ploeg werkvolk een aanvang gemaakt met het pulsen ten behoeve der bronbuizen. Daar deze ploeg nog weinig ondervinding had van het pulsen in den grind-

bodem werd van 23 December tot 24 Januari over twee brongaten gewerkt. Den 27sten Januari werd dit werk met twee ploegen aangepakt en vorderde het werk sneller, zoodat den 23sten Februari de bronnen gereed waren.

Terwijl de lange tijd, benoodigd voor het pulsen eener bron, gedeeltelijk moet worden toegeschreven aan materiaal dat voor den ondergrond niet altijd geschikt was, blijkt uit volgend lijstje dat de aanvankelijke ongeschooldheid der ploegen hieraan eveneens schuld was.

Volgorde der bronnen.	Aantal dagen, benoodigd voor het pulsen van een brongat door een ploeg (3½ man).
Bron 3 . . . . .	12
„ 4 . . . . .	9
„ 2 . . . . .	6
„ 8 . . . . .	7
„ 1 . . . . .	6
„ 7 . . . . .	8
„ 5 . . . . .	6
„ 1 (1) . . . . .	5
„ 9 . . . . .	5
„ 10 . . . . .	5

(1) Nieuw gat voor bron 1 gepulst.

Van 26 Februari tot 9 Maart werden de noodigē ontgravingen verricht voor de machineloods en de sleut voor de zuigleiding terwijl van 9 tot 17 Maart de beton-fundatieplaten voor de pompaggregaten en den windketel, en de betonvloer in de machineloods werden voltooid. Den 21sten Maart werd een aanvang gemaakt met het monteeren der zuigleiding; 6 April werd met het opstellen der pompen begonnen. Wegens hooge Maas- en grondwaterstand dreigde 20 April de put, waarin de machines waren opgesteld, onder water te loopen. Daarom werd met alle macht gewerkt om een pompaggregaat te voltooien, waarna men met de gedeeltelijk gereed zijnde inrichting den grondwaterstand zoodanig kon verlagen, dat er voor de machines geen gevaar meer bestond. Op 20 April waren de machine-installatie en de zuigleiding voltooid. Vervolgens werd de zuigleiding op lekken beproefd door er water onder druk in te persen. Den 4den Mei werd de meetbak geplaatst. De daarop volgende dagen werden besteed aan



het afwerken van de persleiding en de dichting van de toldeur van de meetbak. Den 6den Mei werd de installatie opgeleverd.

### C. WERKING DER PROEFINRICHTING.

Voordat de inrichting werkte waren de waarnemingsbuizen reeds geruimen tijd éénmaal per dag waargenomen met de bedoeling gegevens te verkrijgen omtrent den stand van het grondwater. Eenige dagen voordat de inrichting definitief zou beginnen te werken werd met de waarnemingsploegen geoefend en werden dag en nacht waarnemingen verricht, zoodat de werking van de bemaling zich in de waarnemingen zou moeten afteekenen.

Na het in bedrijf stellen der bemaling bleek de opbrengst van één pomp slechts 88,1 L. per seconde.

Het gemiddelde peil in de bronnen was 13,92 M. + N.A.P., het centrum der persbuis lag op 20.84 M. + N.A.P. zoodat de geometrische opvoerhoogte slechts 6,92 M. bedroeg (5.61 M. zuighoogte en 1,31 M. pershoogte), wat aanmerkelijk geringer was dan de opvoerhoogte van 8.50 M. waarbij een opbrengst van 200 L. per seconde vereischt werd.

Tusschen het peil in de a<sub>0</sub>- en de Gb-buizen eenerzijds (welke dicht bij de bronnen waren geplaatst) en het peil der meeste bronnen anderzijds werd een zeer groot verschil geconstateerd, wat blijkt uit de volgende tabel.

*Peilverschil tusschen het water in de bronnen en daarbuiten  
op 10 Mei (88,1 L. opbrengst per sec.)*

Bron N <sup>o</sup> .	Peilverschil in M.	Opbrengst in L. per sec.
1	3,24	13,0
2	3,78	11,1
3	— (1)	9,1
4	3,—	13,4
5	5,41	7,3
6	0,42 (2)	9,1
7	1,62	14,0
8	3,65	11,1

(1) Peil in de bron niet waarneembaar.

(2) Filter van bron 6 bleek stuk.

Nu is dit peilverschil gelijk aan de drukhoogte, noodig om de uit de bron weggezogen hoeveelheid water weder aan te vullen en het geeft dus een beeld van den weerstand, welke het naar de bron toestroomende water moet overwinnen bij het doorstromen van grindzandfilter en bronfilter. Dat deze laatste weerstand onnoodig groot was volgde uit den geringen weerstand bij bron 6, waar het filter stuk was, bovendien uit de waarneming dat bij verscheiden bronnen het water enkele meters boven het peil in de bron door het bronfilter sijpelde.

Het kwam er dus in de eerste plaats op aan den weerstand om de bronnen te verminderen.

Bij constante opbrengst der bronnen zou dan minder «drukhoogte» om de bron noodig zijn en, waar bij die constante opbrengst het peil van het grondwater buiten de bronnen niet zou veranderen, zou dus het peil in de bronnen hooger stijgen.

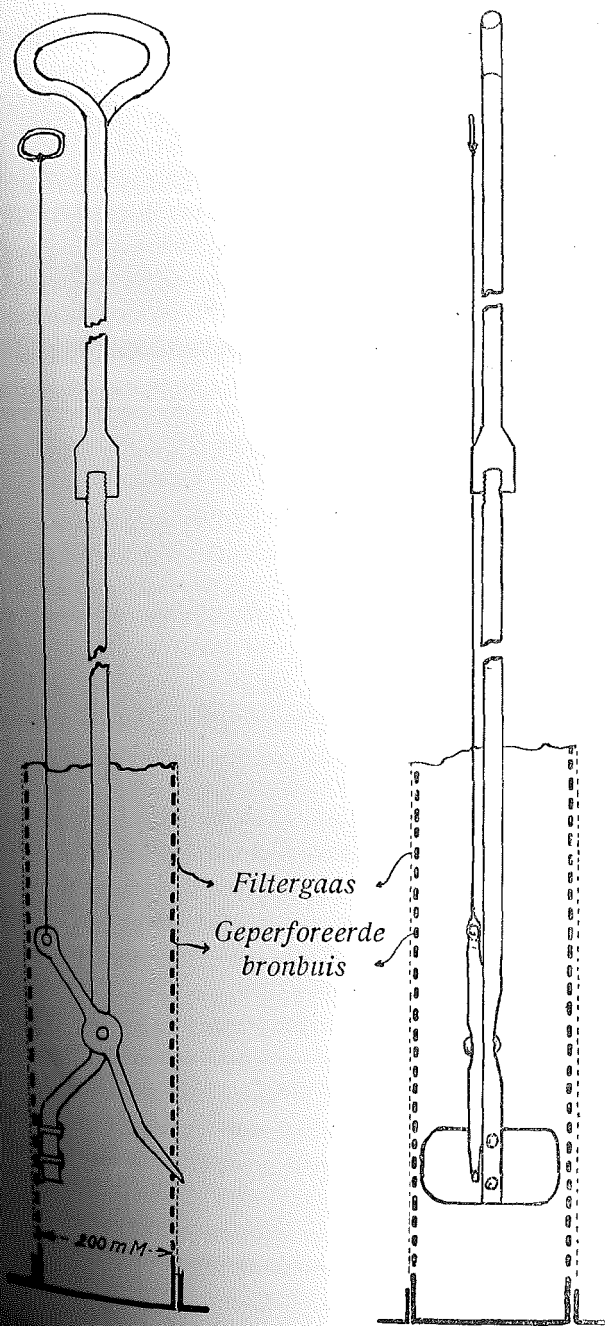
Hierdoor zou de zuighoogte der centrifugaalpomp verminderen waardoor deze meer zou opbrengen, waarvan een verlaging van het grondwater om de bronnen het gevolg zou zijn, zoodat met dezelfde installatie een grooter verlaging zou kunnen worden bereikt.

Voordat hieraan gevolg werd gegeven, werden de voetventielen onder de zuigbuizen gelicht. Deze ventielen moesten, daar zij bijna de geheele bronbuis versperden, vooral bij ruimen watertoevoer aanmerkelijken weerstand geven, terwijl zij bij deze installatie van geen nut waren en slecht werkten. Hoewel bij de meeste bronnen de opbrengst door deze operatie slechts weinig verbeterd kon worden, zouden deze ventielen later bij grootere opbrengst deze zeer zeker aanmerkelijk verminderd hebben. Dit bleek bij bron 6 welke vrij veel water gaf en waar een kleine drukhoogte werd waargenomen (het peil van de bron stond slechts weinig lager dan daar buiten). Na verwijdering van het voetventiel steeg de opbrengst van deze bron van 9,1 tot 19,8 L. per seconde. (2)

Om de opbrengst te vergrooten werden tevens de twee reserve-

---

(2) De opbrengst der afzonderlijke bronnen werd bepaald door telkens één der bronnen uit te schakelen en de gezamenlijke opbrengst van de overige bronnen te meten. Elk der bronnen leverde dan iets meer dan wanneer met het volle aantal werd gewerkt. Daarom werd de opbrengst van elke bron eerst in procenten van de totaal opbrengst bepaald, waarna uit de opbrengst van alle bronnen samen het debiet in liters per seconde werd berekend.



FIGUUR 9.

waarmede gaten in het bronfilter werden geprikt.

bronnen 9 en 10 opgesteld en aangesloten. Bij deze werd reeds vóór de opstelling zorg gedragen dat de weerstand van de bronnen zoo gering mogelijk zou zijn. Daar men slechts de beschikking had over het veel te fijne filtergaas werd dit op honderden plaatsen met een schoenmakersels doorgeprikt. Bovendien werd het filtergaas niet onmiddellijk stijf op de bronbuis bevestigd. Hierdoor toch werd de nuttige filteroppervlakte beperkt tot die plaatsen van het gaas welke de ronde gaten in de bronbuis overspanden. Om de bronbuis werd een spiraalwikkeling van 5 m.M. ijzerdraad gelegd en daarover heen het filtergaas gespannen. Hoewel bij het trekken dezer buizen bleek, dat ondanks deze wikkeling het gaas toch op vele plaatsen tegen de bronbuis was aangedrukt, mag aan dit middel waarde niet ontzegd worden. Bovendien werd, bij deze bronnen het grindzandfilter vervangen door een filter van fijn grind van 2 tot 10 m.M. korrelgrootte.

Zooals verwacht mocht worden, gaven deze verbeterde bronnen aanzienlijk meer water (ongeveer 55 % meer dan het gemiddelde der overige bronnen), terwijl het verschil in waterstand dezer bronnen en de dichtst bijzijnde Gb-buizen zeer gering was. (Op 3 Juli bij 174 L. totale opbrengst 0,30 M. bij bron 9 en 0,52 M. bij bron 10).

Ook de eerste 8 bronnen moesten verbeterd worden, waartoe het bedrijf gedurende eenigen tijd werd gestaakt.

De 8 bronnen te trekken en daarna te verbeteren zou veel tijd en geld hebben gekost, daar voor het weder plaatsen gaten zouden moeten worden gepulst. Daarom werd een toestelletje uitgedacht waarmede, terwijl de bron in den grond stond, het filter van binnen uit kon worden doorboord (zie fig. 9).

Het was niet mogelijk te voorspellen of dit middel tot het gewenschte resultaat zou voeren, omdat eene ruime toevloeiing van zand door de vrij wijde gaten de bron geheel zou kunnen bederven. Daarom werd dit middel het eerst toegepast bij bron 5, welke de minste opbrengst vertoonde en werden in den filterwand ongeveer 600 gaten geprikt. Wel had naar de bron toevloeiing van zand plaats door deze gaten, welk zand door pulsen verwijderd werd en sloeg de centrifugaalpompe na aansluiting van de bron korten tijd eenig zand uit, maar spoedig hield dit geheel op. De fijnste korrels waren slechts onmiddellijk om de bron weggespoeld waardoor een permeabel filter van grof zand en grind overbleef, dat naar de bron toe grover werd.

Vervolgens werd deze operatie bij de overige bronnen herhaald

en kon de aldus verbeterde watervang 14 Juni opnieuw in bedrijf worden gesteld.

Uit het volgende staatje blijkt het resultaat van deze verbetering uit de opbrengst der bronnen en uit het peilverschil in de bronnen en in de dichtst bijzijnde Gb-buizen, terwijl fig. 10 een indruk geeft van den toestand vóór en ná verbetering der bronnen.

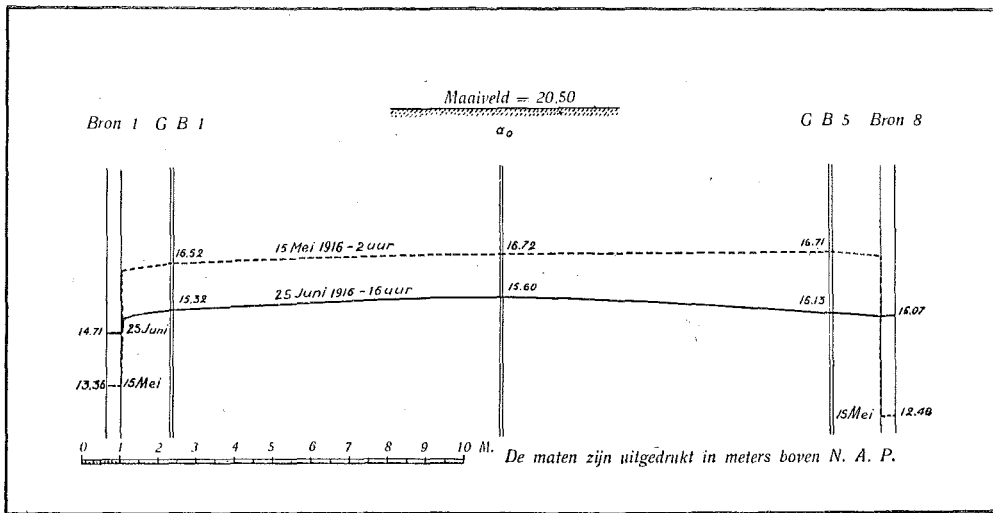
*Opbrengst en peilverschil met de Gb-buizen van de bronnen vóór en ná verbetering (één pomp in bedrijf).*

Bron N <sup>o</sup> .	10 Mei vóór verbetering der bronnen		15 Juni ná verbetering der bronnen	
	opbrengst in L. per seconde.	peilverschil met dichtst bijzijnde Gb-buis in M.	opbrengst in L. per seconde.	peilverschil met dichtst bijzijnde Gb-buis in M.
1	13	3,24	16,31	0,74
2	11,1	3,78	14,35	1,41
3	9,1	(niet waarneembaar)	12,77	0,84
4	13,4	3,00	14,70	0,70
5	7,3	5,41	12,77	1,28
6	9,1	0,42	16,87	1,44
7	14,00	1,62	15,47	0,22
8	11,1	3,65	15,47	0,08
9	(niet aanwezig)	(niet aanwezig)	15,10	0,25
10	" "	" "	15,47	(niet waarneembaar)
Totaal . .	88,1		149,28	

Door deze verbetering was dus de benodigde drukhoogte om de bronnen aanzienlijk minder geworden, waardoor de zuighoogte van de pomp verminderde van 5,61 M. tot 4,65 M. en deze meer opbracht.

Deze meerdere opbrengst had verlaging van den grondwaterstand ten gevolge. Bedroeg deze vóór de verbetering ter plaatse van  $\alpha_0$  1,40 à 1,50 M. na de verbetering was deze ongeveer 2,70 M.

Uit het feit dat bij een zuighoogte van 4,65 M. een der pompen slechts ongeveer 149 L. opbracht, bleek dat deze geenszins aan de eischen beantwoordde. Vervanging der pompen werd niet verlangd



FIGUUR 10.

Voorstelling van den grondwaterstand binnen den bronnenkring voor en na verbetering der bronnen.  
 Na verbetering is de drukhoogte om de bronnen kleiner, de stand in de bronnen  
 hooger, de afgemalen grondwaterstand echter lager.

omdat met het gezamenlijk in bedrijf stellen der twee pompen over een middel werd beschikt de opbrengst tot bijna 200 L. te verhoogen en deze opbrengst en de daarmee gepaard gaande verlaging van den grondwaterspiegel voor de proefneming voldoende geacht werden.

Na de verbetering werd eerst met één, later met twee pompen gemalen.

Zoodoende werden gegevens verkregen betreffende de verlaging van het grondwater bij verschillende opbrengsten wat bij onderlinge controle der daaruit berekende waarden van veel nut werd geacht.

#### D. RESULTATEN DER PROEFINRICHTING.

**Verlaging van den grondwaterspiegel.** In de werking der proefinrichting zijn 4 perioden te onderscheiden n.l.:

I; van 10 Mei tot 23 Mei met een opbrengst van gem. 85 L. (8 bronnen samen);

II; van 23 Mei tot 29 Mei met een opbrengst van gem. 106 L. (9 bronnen samen);

III; van 14 Juni tot 28 Juni met een opbrengst van gem. 145 L. (10 bronnen samen);

IV; van 28 Juni tot 9 Aug. met een opbrengst van gem. 185 L. (10 bronnen samen en 2 pompen).

Ter plaatse van de  $a_0$  buis, in het centrum der inrichting, waar in het algemeen de verlaging binnen den bronnenring het geringst is, werd gemiddeld de hier volgende verlaging van den grondwaterspiegel in de 4 perioden bereikt:

in de 1ste periode ongeveer 1,45 M.

in de 2de periode ongeveer 2,— M.

in de 3de periode ongeveer 2,70 M.

in de 4de periode ongeveer 3,40 M.

De grafieken, voorgesteld op bijlagen 1 en 2 geven een beeld van den invloed van de bemaling op den stand van het grondwater.

In *grafiek I* is het verloop van den waterstand weergegeven aan de peilschalen  $d_1$  en  $d_3$  en in de waarnemingsbuizen  $a_0$ ,  $a_3$ ,  $b_3$ ,  $c_3$  en  $e_2$  gedurende een 5 tal perioden.

Zooals fig. 6 aangeeft bevinden zich de peilschalen  $d_1$  en  $d_3$  in de rivier respectievelijk stroomop- en stroomafwaarts van de bemaling. Tusschen beide peilschalen heerscht des zomers een vrijwel

constant peilverschil. Zij volgen dus dezelfde beweging, zij het met gering tijdsverschil.

De eerste periode, op de grafiek aangegeven, begint op het tijdstip dat de bemaling na beproeving weder in bedrijf wordt gesteld op den roden Mei, wat zich onmiddellijk in den  $a_3$  stand afteekent, terwijl  $a_0$  tengevolge van eene verstopping langzaam reageert. De opbrengst is gemiddeld 80 L.

De tweede periode geeft een beeld van de waterstanden aan de twee peilschalen en in dezelfde buizen op 27 en 28 Mei toen de opbrengst ongeveer 105 L. bedroeg. De onregelmatige loop van  $a_0$  op 28 Mei is veroorzaakt door proeven met de inrichting waarbij door uitschakeling van sommige bronnen tijdelijk een mindere opbrengst werd verkregen.

De derde periode geeft op 28 Juni den overgang weer van het bedrijf bij ongeveer 140 L. opbrengst tot ongeveer 180 L. opbrengst, wat zich onmiddellijk in den  $a_3$  stand afteekent. De verlaging van  $a_0$  is zichtbaar grooter dan in de eerste twee perioden terwijl eveneens blijkt dat bij de grootere opbrengst  $b_3$  een veel sterker invloed ondergaat dan in de eerste twee gevallen, dat de werking der bemaling zich dus op grooter afstand doet gevoelen. In deze periode valt tevens een geringe, snel verloopende was van de rivier, waarvan de invloed op de  $a_3$  lijn door een lichte welving wordt geteekend. De onregelmatigheden in de  $a_3$  en  $a_0$  lijnen op 29 en 30 Juni zijn weder het gevolg van proeven met de inrichting.

De vierde periode toont een 1,85 M. sterke was in de rivier, welke op 8 Juli inzet en geleidelijk verloopt. De invloed van dien was teekent zich in den stand van alle buizen af, zelfs lichtelijk in de  $a_3$  lijn. De sterke «demping» van deze was in den ondergrond is zeer goed merkbaar. Deze stijging van het grondwater, welke zich eveneens in het peil der bronnen doet gevoelen, vermindert de zuighoogte der centrifugaalpompen, waardoor deze meer water opbrengen (de opbrengst der pompen is boven aan de grafiek zichtbaar). Op 18 Juli doet zich een storing voor in het net der Stroomverkoopmaatschappij welke slechts kort van duur is zoodat de pompen slechts gedurende eenige uren stilstaan. Een achttal minuten is voldoende om de geheele trechtervormige verlaging van het grondwater om de bemalingsinrichting heen, te niet te doen; het peil in de bronnen springt als het ware omhoog.



De vijfde periode geeft ten slotte een beeld van de standen op 3, 4, 5 en 6 Augustus bij lagen rivierstand.

In *grafiek 2* zijn standen in de verschillende buizen telkens op één tijdstip in tekening gebracht, links: volgens de as van de sluis ( $d_1$ ,  $d_3$ ) en rechts: loodrecht op die richting.

Ook op deze grafiek is grooter verlaging tengevolge van meerdere wateronttrekking zeer goed waarneembaar. Het best blijkt dit door vergelijking van de standen van 13 Mei en 18 Juli (hooger rivierstand, toch sterker verlaging). Tevens toont deze grafiek aan, dat de standen ter plaatse van de bronbemaling niet alleen beheerscht worden door die van de rivier, maar ook door het water dat van de hoge gronden ten westen van de inrichting komt. De invloed daarvan ziet men het best in het linkerdeel van de rechtsche figuur.

De was van 8 Juli, waarvan de invloed op de bemaling zoo duidelijk uitkomt in de eerste grafiek, is nog op andere wijze zichtbaar gemaakt.

Voor een 5 tal tijdstippen vóór, gedurende en na den was, zijn de hoogtelijnen van den grondwaterspiegel geconstrueerd en deze voor elk dier tijdstippen weergegeven op een kaartje. Op deze kaartjes, welke als bijlagen 3, 4, 5, 6 en 7 aan het rapport zijn toegevoegd, zijn de stroomlijnen, welke de hoogtelijnen rechthoekig snijden, weggelaten voor meerdere duidelijkheid.

Het eerste kaartje (bijlage 3) heeft betrekking op den stand van 8 Juli 1916, 15 uur (3), toen er een zekere evenwichtstoestand in het grondwater viel op te merken. Op dit kaartje is duidelijk te bespeuren hoe de bemaling de hoogtelijnen terugdrukt naar de zijde met den hoogsten waterstand. Met een weinig moeite is uit dit kaartje de toestand van het grondwater te reconstrueeren, zooals die zonder bemaling zou zijn opgetreden. Uit de linkerhelft van het kaartje en de wijze waarop de hoogtelijnen om de bemaling verlopen, is de invloed van het grondwater uit de hoge gronden goed merkbaar.

Het tweede kaartje (bijlage 4) heeft betrekking op den stand van 9 Juli 1916, 9 uur. De rivier is bijna een meter gewassen, de evenwichtstoestand is verstoord.

---

(1) Bij de waarnemingen werden de uren van middernacht tot middernacht doorgeteld, dus van 0 tot 24.

Aan de zijde van de peilschaal  $d_1$  (onderaan het kaartje) treedt in het grondwater een veel steiler verhang op dan den dag te voren werd geconstateerd, wat blijkt uit de dicht op elkaar gedrongen hoogtelijnen.

De verhooging aan de peilschalen  $co_2$  en  $d_3$  heeft ten gevolge dat de op het vorig kaartje nog geopende hoogtelijnen van 17,— M. + N.A.P., en 17,20 M. + N.A.P. zich sluiten.

Het derde kaartje (bijlage 5) heeft betrekking op den stand van 10 Juli 1916, 1 uur. De rivier is nog ruim 0.8 M. gewassen. De verschijnselen, reeds op het vorig kaartje merkbaar, komen hier nog duidelijker uit.

Bij de peilschaal  $d_1$  is het verhang van het grondwater nog steiler geworden, de hoogtelijnen zijn daar nog dichter op elkaar gedrongen, terwijl zich nog meerdere hoogtelijnen naar de zijde van de peilschalen  $co_2$  en  $d_3$  gesloten hebben.

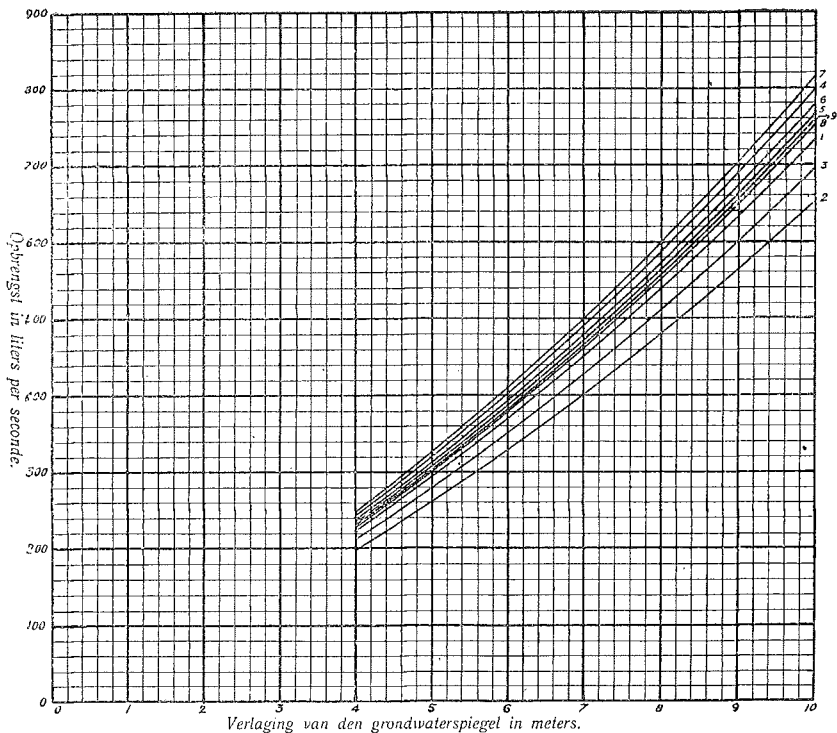
Het vierde kaartje (bijlage 6) heeft betrekking op den stand van 11 Juli 1916, 19 uur. De rivier is sinds den vorigen dag 0.8 M. gevallen, wat van invloed blijkt te zijn op de hoogtelijnen welke dicht bij de rivier loopen. Zoo heeft de lijn van 17.80 M. + N.A.P. zich weder geopend en is het verhang van het grondwater bij  $d_1$  niet meer zoo steil.

Door vergelijking met het vorig kaartje blijkt echter duidelijk dat de gesloten hoogtelijnen om de installatie (bijv. de lijn van 17.60 M. + N.A.P.) nog nauwer zijn toegesnoerd. Terwijl de rivier dus weder vallende is, werkt de was in de nabijheid der inrichting nog na.

Het vijfde kaartje (bijlage 7) heeft betrekking op den stand van 14 Juli 1916, 9 uur. De rivier is sedert 11 Juli nog 0.6 M. gevallen. Meerdere hoogtelijnen hebben zich weder geopend. Een evenwichtstoestand is zich weder aan het vormen.

**Doorlaatbaarheid van den ondergrond; berekening van den coëfficiënt van Darcy :/k.** Het doel van de proefbemaling was: gegevens te verkrijgen voor het ontwerpen van de fundeeringsbemalingen van sluis en stuw te Linne. Onder deze gegevens neemt de benodigde wateropbrengst bij een gegeven verlaging van den waterspiegel, naast de benodigde opvoerhoogte, de eerste plaats in.

Teneinde deze wateropbrengst voor verschillende gevallen te be-



FIGUUR 11.

Voorspellingskrommen, berekend uit den stand van het grondwater op negen verschillende tijdstippen gedurende de bemaling.

palen werd eene „voorspellingskromme” berekend, waaruit bij eene geëschte verlaging van den waterspiegel onmiddellijk de daarvoor noodige wateropbrengst is af te leiden. Deze kromme werd berekend voor de proefinrichting. Voor installaties welke een oppervlak van anderen vorm en grootte insluiten, moeten de gevonden uitkomsten herleid worden.

Ter bepaling van deze kromme werd in de eerste plaats  $k$ : de coëfficiënt uit de formule van DARCY, berekend, welke aan de volgende becijfering ten grondslag ligt, en wel uit de formule

$$k = \frac{Q}{n} \frac{\frac{l'}{n} \cdot \ln x'_1 \cdot x'_2 \dots x'_n - \frac{l''}{n} \ln x''_1 \cdot x''_2 \dots x''_n}{z_1^2 - z_2^2}$$

waarin :

$k$  = snelheid in meters per sec.

$Q$  = wateropbrengst van alle bronnen in  $M^3$ . per sec.

$n$  = aantal bronnen.

$\ln x'_1 \cdot x'_2 \dots x'_n$  = Naperiaansche logarithme van de producten der afstanden van de waarnemingsbuis I tot de verschillende bronnen in Meters.

$\ln x''_1 \cdot x''_2 \dots x''_n$  = Naperiaansche logarithme van de producten der afstanden van de waarnemingsbuis II tot de verschillende bronnen in Meters.

$z_1$  = hoogte van den waterstand in buis I boven de ondoorlaatbare laag in Meters.

$z_2$  = hoogte van den waterstand in buis II boven de ondoorlaatbare laag in Meters:

Waar tot op groote diepte geen ondoorlaatbare laag werd aanbeoord, werd voor deze aangenomen het vlak dat door de onderkant van de bronnen gaat en evenwijdig loopt met het oppervlak van het niet-afgemalen grondwater.

Voor de berekening van  $k$  werden uit de waarnemingen de tijdstippen opgezocht waarop vrijwel een evenwichtstoestand was ingetreden. Met bovenstaande formule werd nu telkens voor twee waar-

nemingsbuizen een waarde voor  $k$  berekend. Uit de voor één tijdstip gevonden waarden werd het gemiddelde bepaald.

Voor verschillende tijdstippen zijn de uitkomsten in onderstaande tabel vereenigd.

Tijdstip.	Wateropbrengst L. per sec.	$k$ M. per sec.
13 Mei 1916 — 3 uur. . . . .	82,—	0,00376
15 Mei 1916 — 2 uur. . . . .	75,—	0,00306
27 Mei 1916 — 7 uur. . . . .	106,9	0,00333
25 Juni 1916 — 16 uur. . . . .	143,4	0,00328
27 Juni 1916 — 17 uur. . . . .	141,2	0,00334
4 Juli 1916 — 19 uur. . . . .	172,4	0,00371
17 Juli 1916 — 17 uur. . . . .	187,5	0,00387
29 Juli 1916 — 5 uur. . . . .	178,7	0,00395
7 Aug. 1916 — 23 uur. . . . .	169,7	0,00389

In de laatste kolom zijn opgenomen de gemiddelden van de waarden van  $k$ , gevonden door vergelijking van den waterstand in de buis  $a_0$  (centrum) met den waterstand in alle overige  $a$ ,  $b$   $c$  en  $d$  buizen.

Uit de tabel blijkt, dat voor verschillende opbrengsten andere waarden voor  $k$  worden gevonden. De waarde van  $k$  neemt toe met de stijging van de wateropbrengst (4).

Eensdeels is dit waarschijnlijk te wijten aan de veronderstelling van een (denkbeeldige) ondoorlaatbare laag bij den onderkant der bronnen. Waar deze geheel ontbreekt, is het waarschijnlijk dat bij toeneming van de opbrengst een naar verhouding steeds grooter deel van de grondlagen beneden de denkbeeldige ondoorlaatbare laag water naar de bronnen zal toevoeren, waardoor de toevloed van water grooter wordt dan door de formule wordt uitgedrukt. Bovendien gaat met toeneming van de opbrengst vergrooting van de invloedssfeer der bemaling gepaard, waardoor de rivier allengs meer invloed op de toestrooming gaat uitoefenen. Het is echter bezwaarlijk deze invloeden in de formule op andere wijze vast te leggen dan door aangroeiing van  $k$ .

(4) Dat de doorlaatbaarheid te Linne groot is, blijkt wel uit het feit, dat voor het fijne zand te Emden (Duitschland) de  $k$  berekend werd op 0,0002 M. per sec.

Bepaling van den straal der invloedssfeer R. Voor de bepaling van den straal der invloedssfeer R is gebruik gemaakt van de formule:

$$\ln R = \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \dots x_n + \frac{nk}{Q} (H^2 - z^2)$$

waarin: R = straal van de invloedssfeer in M.

n = aantal bronnen.

$\ln x_1 \cdot x_2 \dots x_n$  = Naperiaansche logaritmen van de producten der afstanden van een waarnemingsbuis tot de verschillende bronnen in M.

k =  $k_1$  in bovengenoemde tabel in M. per sec.

Q = totale wateropbrengst in M<sup>3</sup>. per seconde.

H = hoogte van den niet bemalen waterstand in de beschouwde buis boven de ondoorlaatbare laag in M.

z = hoogte van den bemalen waterstand in de beschouwde buis boven de ondoorlaatbare in M.

R werd bepaald voor elke waarnemingsbuis. Uit de gevonden waarden werd het gemiddelde aangehouden.

Voor de verschillende tijdstippen, genoemd in de voorgaande tabel, werden de volgende waarden gevonden:

Tijdstip.	Wateropbrengst L. per sec.	R in M berekend.	R in M, indirect waargenomen.
13 Mei 1916 — 3 uur. . .	82,—	367	300
15 Mei 1916 — 2 uur. . .	75,—	293	310
27 Mei 1916 — 7 uur. . .	106,9	301	360
25 Juni 1916 — 16 uur. . .	143,4	259	430
27 Juni 1916 — 17 uur. . .	141,2	257	420
4 Juli 1916 — 19 uur. . .	172,4	364	500
17 Juli 1916 — 17 uur. . .	187,5	359	500
29 Juli 1916 — 5 uur. . .	178,7	412	500
7 Aug. 1916 — 23 uur. . .	169,7	464	500

De berekende waarden schijnen vooral voor de groote opbrengsten wat te laag, wanneer zij vergeleken worden bij de waarden welke werden gevonden door vergelijking van den natuurlijken met den

bemalen grondwaterstand, waarbij echter niet uit het oog mag worden verloren, dat het voor de omgeving der proefinrichting zeer moeilijk is den natuurlijke waterstand uit den afgemalen waterstand precies te reconstrueeren, omdat de factoren welke den stand van het grondwater bepalen, voortdurend wisselen.

**Contrôlebe.** Om uit de waargenomen verlaging bij een bepaalde rekening van opbrengst af te leiden hoe groot bij een andere verwaargenomen laging de opbrengst moet zijn, wordt gebruik gemaakt van de formule

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{S_1 (2H_1 - S_1)}{S_2 (2H_2 - S_2)}$$

waarin:  $Q$  = de opbrengst in  $M^3$ . per seconde.

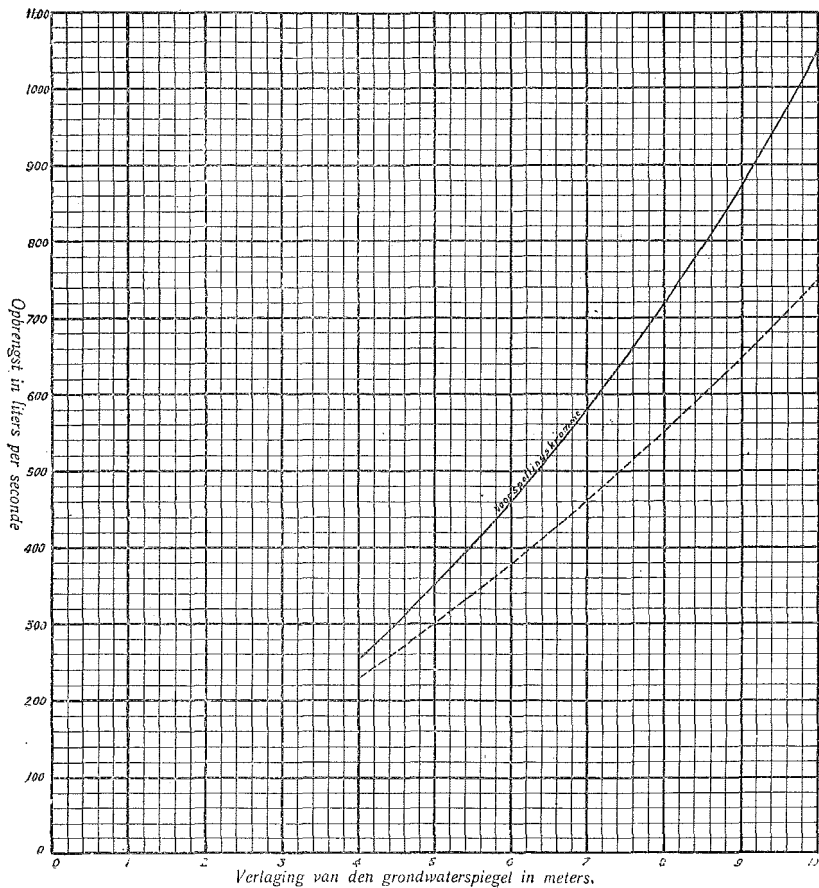
$S$  = de verlaging van den waterspiegel in  $M$ .

$H$  = de hoogte van den niet-bemalen waterspiegel boven den onderkant van het filter in  $M$ .

Met behulp van deze formule werd, uit de gegevens verkregen van 13, 15 en 27 Mei, de opbrengst berekend behoorende bij de verlaging van den waterspiegel op 13, 15 en 27 Mei, 25 en 27 Juni, 4, 17 en 29 Juli en 7 Augustus en werden deze uitkomsten vergeleken bij de werkelijk gemeten opbrengsten op die tijdstippen.

Bij de berekening werd met een toeneming van  $k$  bij grootere opbrengst rekening gehouden. De resultaten zijn in de volgende tabel met de gemeten opbrengsten vereenigd.

Datum.	Gemeten opbrengst L. per sec.	Opbrengst berekend uit gegevens voor		
		13 Mei.	15 Mei.	27 Mei.
(1) 13 Mei 1916 — 3 uur	82,—	—	89,7	88,—
(2) 15 Mei 1916 — 2 uur	75,—	68,6	—	73,5
(3) 27 Mei 1916 — 7 uur	106,9	99,7	109,—	—
(4) 25 Juni 1916 — 16 uur	143,4	121,7	133,—	130,4
(5) 27 Juni 1916 — 17 uur	141,2	119,7	130,9	128,4
(6) 4 Juli 1916 — 19 uur	172,4	160,—	175,—	171,6
(7) 17 Juli 1916 — 17 uur	187,5	173,7	189,7	185,8
(8) 29 Juli 1916 — 5 uur	178,7	173,5	188,7	184,8
(9) 7 Aug. 1916 — 23 uur	169,7	169,2	185,—	181,4



FIGUUR 12.

Voorspellingskrommen. De getrokken lijn geeft de kromme weer welke aan de berekeningen ten grondslag is gelegd.



Voorspelling van de wateropbrengst bij grotere verlaging van den waterspiegel dan door de proefbemaling werd bereikt, berekend voor de proefinrichting.

Ten behoeve van de voorspelling van de wateropbrengst bij grotere verlaging van den waterspiegel dan door de proefbemaling werd bereikt, is weder gebruik gemaakt van de formule:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{S_1 (2H_1 - S_1)}{S_2 (2H_2 - S_2)}$$

Daarbij werd de onderkant der filters en daarmee de denkbeeldige ondoorlaatbare laag gedacht op 7,50 M. onder den afgemalen waterstand, zoodat  $(H_2 - S_2) = 7,50$  M.

Deze waarde is grooter dan die welke bij de grootste opbrengsten tijdens de proefbemaling werd geconstateerd. Daar bij grooter  $(H_2 - S_2)$  ook  $Q_2$  grooter wordt, is de uitkomst aan den veiligen kant.

Voor elk der 9 waargenomen opbrengsten zijn nu, bij constant gedachte  $k$ , voor verschillende waarden van de verlaging van den waterspiegel (tot 10 M.) de bijbehorende opbrengsten berekend.

De resultaten zijn in figuur 11 grafisch voorgesteld. Tevens werd daaruit een gemiddelde kromme bepaald, welke gestippeld is weergegeven in figuur 12.

Bij deze uitkomst is, zooals boven werd uiteengezet, geen rekening gehouden met aangroeiing van  $k$  bij sterkere verlaging van den grondwaterspiegel.

Wordt aangenomen dat  $k$  in bovenstaande formule gelijkmatig blijft aangroeien, dan worden grotere waarden gevonden voor de benodigde opbrengst.

Het resultaat is in figuur 12 weergegeven door de getrokken kromme. Deze kromme is voor de verdere berekeningen aangehouden.

**Invloed van sterke wassen in de rivier.** Zooals reeds aan de hand van grafiek I werd uiteengezet, doen de gevolgen van een snelle was in de rivier zich met sterke vertraging gevoelen in den grondwaterstand. De wassen van de Maas gedurende het zomerseizoen duren daarbij te kort om het grondwaterpeil te doen stijgen tot een stand, welke overeenkomt met den hoogsten rivierstand. Dit feit is van groot belang voor de vereischte capaciteit eener fundeeringbemaling welke gedurende de laagwaterperiode (Zomerperiode) van de Maas in bedrijf is. De verlaging van den grondwaterstand behoeft

immers niet gelijk te zijn aan het peilverschil tusschen hoogsten rivierwaterstand en den onderkant van de fundeering, maar behoeft slechts overeen te komen met het peilverschil tusschen den hoogsten grondwaterstand en den onderkant van de fundeering.

Waar juist de hooge toppen der wassen snel verlopen en deze weinig invloed hebben op den stand van het grondwater, is het verschil tusschen hoogsten rivierstand en grondwaterstand aanmerkelijk, waardoor de vereischte opbrengst op den lageren stand gebaseerd kan worden, wat aan de bemalingskosten ten goede komt.

**Bronnen.** Bovendien wees de proefbemaling uit, dat bij zorgvuldige keuze der bronnen en een goed grindfilter een groote opbrengst per bron in den permeabelen grond te Linne toelaatbaar is. Daarbij bleek, dat zelfs dan nog het peilverschil van den waterstand binnen en buiten de bron zeer gering kan zijn. Ook dit is van groot belang. Vaak toch wordt bij bronbemalingen een peilverschil van meerdere meters tusschen den waterstand in het midden van de fundeeringsput en in de bronnen geconstateerd en wordt dit peilverschil wel eens ten onrechte toegeschreven aan het verval tusschen het midden van de fundeeringsput en het peil van het water buiten de bronnen, terwijl niet gedacht wordt aan het peilverschil van het water binnen en buiten de bronnen. Dit laatste kan enkele meters bedragen, doch is te beperken door in verband met de opbrengst der bronnen en den ondergrond, den weerstand welke het water bij toetreding tot de bron ondervindt, te verminderen.

Wordt deze «drukhoogte» door zorgvuldige keuze der bronnen verminderd, dan vermindert daardoor, niet de benodigde wateropbrengst, maar wel met het zelfde bedrag de opvoerhoogte, wat besparing aan bedrijfskosten medebrengt.

**Pompen.** Dat de pompen niet aan de gestelde eischen voldeden is reeds vermeld. Aan het gasgehalte van het water, dat na analyse zeer gering bleek, kan deze fout niet worden geweten.

Bij vele bemalingsbedrijven is geen inrichting voorhanden om snel en nauwkeurig de opbrengst der pompen te meten, terwijl soms zelfs de opvoerhoogte niet wordt bepaald. Men verkeert dan over het nuttig effect der bemaling, welke vaak te gering zal zijn, volkomen in onzekerheid.

**Waarnemings-** Hoewel een meetbak als te Linne werd uitgevoerd, zeer systeem. goed voldeed, eischt deze een vergrooting van de opvoerhoogte van ongeveer 1 M., wat in de bedrijfskosten eener fundeeringsbemaling met groote opbrengst door een aanzienlijk bedrag wordt uitgedrukt; daarom zijn bij fundeeringsbemalingen andere meetinstrumenten op hun plaats.

Met nadruk moet worden gewezen op het nut van een aantal juist geplaatste waarnemingsbuizen. Geregelde waarneming kan opheldering geven omtrent een groot aantal punten, waarover men anders volslagen in het duister verkeert. Tevens wordt daardoor de kennis omtrent het bemalingsbedrijf vergroot, waardoor het mogelijk is dit bedrijf technisch te verbeteren.

### HOOFDSTUK III.

## BEPALING VAN DE VEREISCHE WATER- OPBRENGST DER FUNDEERINGSBEMALIN- GEN VOOR DE SLEEPSLUIS EN VOOR DE STUW TE LINNE.

#### A. FUNDEERINGSBEMALING VOOR DE SLUIS.

De wateropbrengst eener fundeeringsbemaling is afhankelijk van de vereischte verlaging van den grondwaterspiegel. Deze verlaging is gelijk aan het peilverschil tusschen: (*a*) den onbemalen grondwaterstand en (*b*) het peil dat men met bemaling bereiken wil. De grootste wateropbrengst eener bemalingsinrichting hangt dus af van het peilverschil tusschen den hoogsten onbemalen grondwaterstand ter plaatse van de sluis en den gewenschten grondwaterstand in den fundeeringsput.

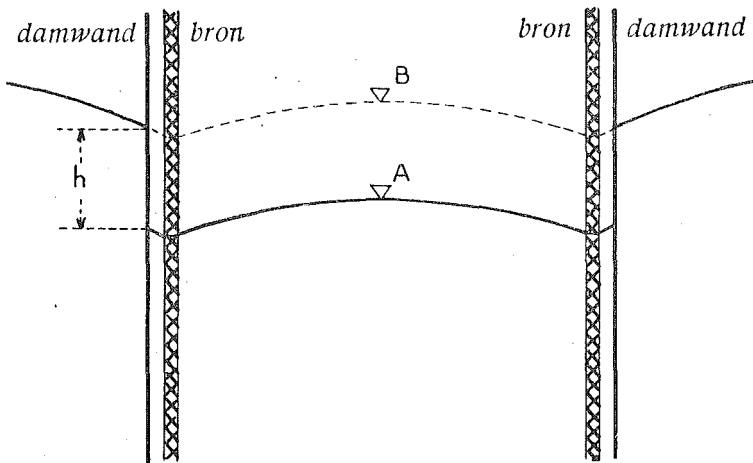
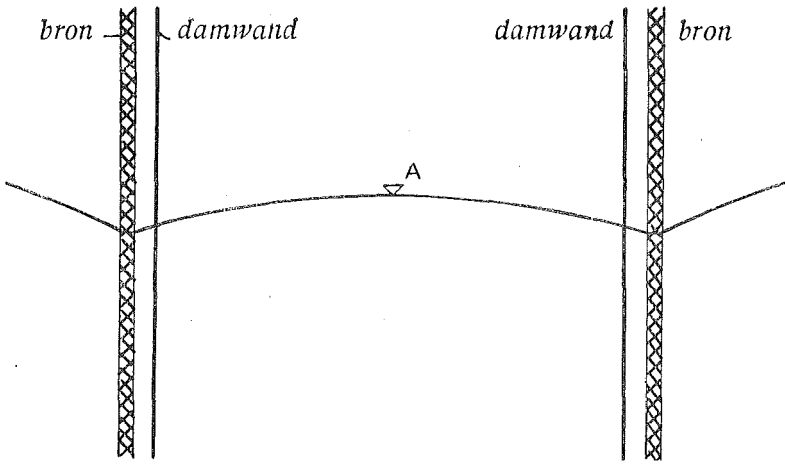
Als hoogste natuurlijke grondwaterstand voor de laagwaterperiode werd ter plaatse van het bovenhoofd der sluis 20 M. + N.A.P. aangenomen, een grondwaterstand welke werd waargenomen na den vrij hoogen en langdurigen April-was in het jaar 1916.

In het zomerseizoen behoort een dergelijke stand echter tot de hooge uitzonderingen, de daaruit afgeleide wateropbrengst heeft dus betrekking op de maximumcapaciteit van de bemalingsinrichting.

Voor de berekening van de wateropbrengst bij normaal bedrijf is aangehouden een grondwaterstand ter plaatse van het bovenhoofd van 18 M. + N.A.P., ongeveer overeenkomende met den M. R. stand in de rivier.

Vervolgens moet de gewenschte grondwaterstand in de fundeeringsput bekend zijn.

**Fundeering der hoofden op ongewapende of op gewapende betonplaten.** Wordt de fundeering geheel in den droge uit-



FIGUUR 13.

Schematische voorstelling van den grondwaterspiegel bij bemaling buiten den damwand (boven) en bij bemaling binnen den damwand (beneden).

gevoerd dan moet dit peil liggen onder het diepste punt der fundeering. Worden de hoofden op platen van ongewapend beton gefundeerd, dan ligt de onderkant van de fundeering aanmerkelijk dieper dan wanneer de constructiehoogte der fundeeringsplaten wordt beperkt door toepassing van gewapend beton. In het eerste geval (ongewapend beton) zal zoowel de opbrengst als de opvoerhoogte der bemaling grooter zijn dan in het laatste geval, zoodat de kostprijs van een ongewapende betonplaat met grooter bemalingskosten wordt bezwaard dan de kostprijs van een gewapende plaat.

**Algeheele drooglegging van den funderingsput of afzonderlijke drooglegging der hoofden.** In de tweede plaats is het van belang te weten of uit het oogpunt van bemalingskosten algeheele drooglegging van den sluisput sterk in het nadeel is bij afzonderlijke drooglegging der hoofden, waarbij voor de kolkmuuren een zoodanige fundeeringwijze wordt gevolgd, dat daarvoor geene of geringe bemaling noodig is.

**Bemaling binnen of buiten de damwanden.** In de derde plaats doet zich de vraag voor in hoeverre het voordeel biedt partij te trekken van de damwanden, welke ter bescherming van het kunstwerk tegen onderloopsheid, zoowel elk der hoofden afzonderlijk als de geheele sluis omsluiten.

Worden de bronnen namelijk binnen den damwand geplaatst, dan zal de toestrooming van het grondwater naar den sluisput bemoeilijkt worden en kan de opbrengst van de bemaling geringer zijn.

Dit wordt verduidelijkt in de figuren 13. In de bovenste figuur is bemaling buiten den damwand schematisch voorgesteld. In het midden van den sluisput vindt verlaging van den grondwaterstand plaats tot A. In de onderste figuur is bemaling binnen den damwand voorgesteld en wordt de grondwaterstand in den sluisput tot hetzelfde peil A verlaagd. De weerstand welke de damwand aan het toestroomende water biedt, gaat gepaard met een opstuwung  $h$  buiten den damwand. De benoodigde opbrengst is in dit geval even groot als wanneer zonder damwand werd afgemalen tot een peil B dat  $h$  hooger ligt dan A. Het voordeel van minder wateropbrengst, veroorzaakt door den damwand, wordt uitgedrukt door het verschil in opbrengst voor afmaling tot A en afmaling tot B. Bij de berekening van de benoodigde opbrengst, zoowel voor drooglegging van den geheelen sluisput als voor het afzonderlijk droogleggen der hoofden, is

eenerzijds onderscheid gemaakt tusschen een fundeering der hoofden op gewapend en op ongewapend beton, anderzijds tusschen bemaling buiten en binnen de damwanden. Voor al deze gevallen zijn niet alleen de maximum-opbrengsten maar eveneens de normale opbrengsten berekend. De hoogteligging van den onderkant der fundeering en de daaruit voortspruitende gewenschte waterstand in de sluisput zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

	Fundeering op ongewapend beton.			Fundeering op gewapend beton.		
	Onderkant fundeering M. + N.A.P.	Verlaging bij		Onderkant fundeering M. + N.A.P.	Verlaging bij	
		normaal	maximaal		normaal	maximaal
		bedrijf tot M. + N.A.P.			bedrijf tot M. + N.A.P.	
Bovenhoofd (1) . .	13,50	13,—	13,40 (2)	—	—	—
Tusschenhoofd . .	10,20	9,70	10,10 (2)	11,60	11,10	11,50 (2)
Benedenhoofd . .						

(1) Bij het bovenhoofd zijn de betreffende cijfers voor fundeering op gewapend beton niet vermeld, omdat de verlaging van het grondwater bij het bovenhoofd niet zoozeer van de fundeering van het sluishoofd als van den stormmuur afhangt.

(2) Terwijl als gewenschte grondwaterstand bij normaal bedrijf is aangenomen de stand welke zich 50 c.M. onder den onderkant der fundeering bevindt, is deze overmaat bij maximaal bedrijf verminderd tot 10 c.M.

Ter bepaling van den invloed van den damwand op de bemaling is uitgegaan van de veronderstelling dat deze een drukverlies (zie figuur 13) veroorzaakt gelijk aan  $\frac{1}{5}$  der totale verlaging van den grondwaterspiegel, eene onderstelling welke, gegeven de groote diepte van den damwand en gezien de resultaten elders bereikt (5) niet te stout is.

**Gang der berekening van de benodigde opbrengst.** Bij de vereischte verlaging van den waterspiegel voor de verschillende gevallen werd met behulp van de in het vorige hoofdstuk opgestelde voorspellingskromme, de benodigde wateropbrengst gevonden. Deze uitkomst geldt echter voor de proefbemaling en moet voor eene bema-

(5) Vergelijk o.a. «Zentrablatt d. Bauverwaltung», jaarg. 1916, blz. 336: Bau der zweiten groszen Schleuse in Fürstenwalde a.d. Spree.

lingsinrichting, welke een oppervlak van anderen vorm en grootte insluit, herleid worden. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de volgende betrekking: Wanneer door de bronnen van twee verschillende bemalingsinrichtingen gelijkvormige figuren worden gevormd, zal de verhouding der opbrengsten der twee inrichtingen, bij een zelfde verlaging van den waterstand voor een zelfde punt binnen de bemaling, uitgedrukt worden door de formule:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 x_2 \dots x_n - \ln b}{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 x_2 \dots x_n}$$

waarin:

$Q_1$  = de opbrengst van de inrichting met het kleinste oppervlak.

$Q_2$  = de opbrengst van de inrichting met het grootste oppervlak.

$R$  = de straal van den invloedssfeer van de bemaling.

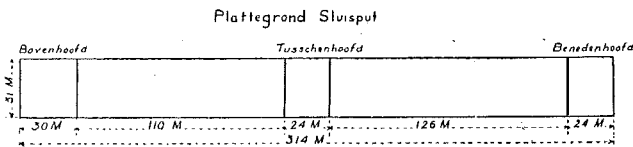
$x_1 \cdot x_2 \dots$  enz. = de afstanden der bronnen tot het beschouwde punt binnen de bemaling.

$n$  = het aantal bronnen.

$b$  = de verhouding welke tusschen de lineaire afmetingen van beide oppervlakken bestaat.

Zijn de omsloten oppervlakken niet gelijkvormig dan kan bij benadering voor  $b$  gezet worden de wortel uit het quotient, ontstaande bij deeling van het kleinste oppervlak op het grootste oppervlak.

Voor de afmetingen van den fundeeringsput zijn de volgende maten aangehouden (figuur 14).



Figuur 14.

De uitkomsten der berekeningen zijn weergegeven in de volgende tabel.



*Benodigde opbrengst ter bemaling van den sluisput in L. per sec.  
voor verschillende gevallen.*

Bemaling van den Sluisput te Linne.	Bovenhoofd op onge- wapend betonplaat		Tusschen- of benedenhoofd				Geheele sluis			
			fundeering op ongewapend beton		fundeering op gewapend beton		fundeering op ongewapend beton		fundeering op gewapend beton	
	nor- maal. (1)	maxi- maal. (2)	nor- maal. (3)	maxi- maal. (4)	nor- maal. (5)	maxi- maal. (6)	nor- maal. (3)	maxi- maal. (4)	nor- maal. (5)	maxi- maal. (6)
Bemaling <i>buiten</i> den damwand . . . . .	460	680	890	1210	660	930	1330	1810	1000	1430
Bemaling <i>binnen</i> den damwand . . . . .	320	460	580	790	440	620	910	1220	700	980

De natuurlijke grondwaterstand ter plaatse van tusschen- en benedenhoofd is 40 c.M. lager aangenomen dan de overeenkomstige stand ter plaatse van het bovenhoofd, welk peilverschil zich in werkelijkheid gemiddeld voordoet.

- (1) verlaging van 18,— M. † N.A.P. tot 13,— M. † N.A.P.
- (2) verlaging van 20,— M. † N.A.P. tot 13,50 M. † N.A.P.
- (3) verlaging van 17,60 M. † N.A.P. tot 9,70 M. † N.A.P.
- (4) verlaging van 19,60 M. † N.A.P. tot 10,10 M. † N.A.P.
- (5) verlaging van 17,60 M. † N.A.P. tot 11,10 M. † N.A.P.
- (6) verlaging van 19,60 M. † N.A.P. tot 11,50 M. † N.A.P.

Uit deze cijfers kan het volgende worden afgeleid:

**Fundeering der hoofden op gewapende of ongewapende betonplaten.** De opbrengsten zijn bij toepassing van ongewapende betonplaten gemiddeld 30 % hooger dan bij toepassing van gewapende betonplaten. Wordt daarbij in aanmerking genomen dat in het eerste geval de geometrische opvoerhoogte der pompen ongeveer 15 % grooter is; dan volgt daaruit dat de capaciteit der pompen en krachtwerktuigen ongeveer 40 a 50 % grooter moeten zijn, welke cijfers bij benadering ook voor de bemalingskosten gelden. (6)

Worden bemalings- en ontgravingskosten buiten beschouwing

---

(6) Deze cijfers zullen iets kleiner zijn bij drooglegging van den geheelen sluisput omdat het in dat geval niet stipt noodzakelijk is over het geheele oppervlak van den sluisput het grondwater evenveel te verlagen.

gelaten dan is er weinig verschil in prijs tusschen een dunne gewapende fundeeringsplaat en een dikke ongewapende fundeeringsplaat. De kosten van het meerdere grondverzet en de aanzienlijk grootere bemalingskosten stellen de ongewapende plaat zeer in het nadeel. In dit geval is voor de constructie van de fundeering dus de bemaling maatgevend.

**Bemaling binnen of buiten de damwanden.** In de tweede plaats blijkt uit de cijfers dat opstelling der bronnen binnen den damwand groote voordeelen medebrengt. Onder aanname dat de weerstand van den damwand  $\frac{1}{5}$  van de totale verlaging van den waterspiegel bedraagt bij opstelling binnen den damwand, wordt bij opstelling *buiten* den damwand eene gemiddeld 48% grootere opbrengst gevonden. Hoewel opstelling der bronnen binnen den damwand speciale zorg voor het dichten der brongaten meebrengt, is deze methode dus zeer aan te bevelen.

Stelt men, aannemende dat de geheele sluisput wordt drooggelegd, fundeering op ongewapend beton en bemaling buiten den damwand *tegenover* fundeering op gewapend beton en bemaling binnen den damwand, dan blijkt dat in het eerste geval de opbrengst ongeveer 1,9 maal zoo groot is, terwijl in verband met de grootere opvoerhoogte het machine vermogen ongeveer 2,2 maal zoo groot moet zijn, terwijl deze laatste verhouding eveneens ten naaste bij voor de bemalingskosten geldt.

**Algeheele drooglegging van de fundeeringssput of afzonderlijke drooglegging der hoofden.** In de derde plaats zijn in de tabel cijfers vermeld betreffende algeheele drooglegging van den sluisput en afzonderlijke drooglegging der hoofden. Deze laatste cijfers hebben uitsluitend betrekking op het geval dat de drie hoofden *niet gelijktijdig* worden bemalen. In dit laatste geval zou een totale opbrengst worden gevonden welke aanmerkelijk kleiner is dan de som der opbrengsten in de tabel vermeld (7), doch weinig verschillend van de totaal opbrengst bij drooglegging van den geheelen sluisput.

Gelijktijdige bemaling van de drie sluishoofden heeft dan ook weinig zin, omdat men daarmee weinig of niets bespaart tegenover algeheele drooglegging van de sluisput, daarentegen aan deze methode

---

(7) In dit geval toch «ondersteunen» de bemalingen elkaar.

wel het nadeel verbonden is, dat bij de kolkmuuren grootendeels een andere fundeeringswijze moet worden toegepast, terwijl bij één groote bemalingsinrichting met veel minder reserve kan worden volstaan dan bij drie afzonderlijke kleinere inrichtingen.

Tegenover drooglegging van den geheelen sluisput is eene eenigszins belangrijke verlaging der bemalingscijfers slechts te verkrijgen wanneer men de hoofden *elk afzonderlijk* en *na elkaar* met behulp van dezelfde inrichting bemaalt.

Hieraan zijn echter overwegende nadeelen verbonden.

In dit geval moet voor de kolkmuuren eene gewijzigde fundeeringsmethode worden toegepast; hetzij open bemaling (8) hetzij opstorten van beton onder water, hetzij hoog fundeeren op gewapend betonpalen, waarbij waarschijnlijk de doorlopende riolen met zijspruiten zullen moeten vervallen.

Bovendien moet de inrichting voor de fundeering bij één sluis *driemaal* worden opgesteld wat hooge kosten doch bovenal zeer veel tijdverlies medebrengt. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat met deze methode de fundeeringen der drie hoofden in één seizoen kunnen worden voltooid, wat zeer gewenscht is.

*Uit het bovenstaande mag worden afgeleid dat bemaling van de geheele sluisput voorkeur verdient boven afzonderlijke bemaling der hoofden;*

*dat plaatsing der bronnen binnen den damwand groote voordeelen geeft, en*

*eene fundeering der hoofden op gewapend beton te verkiezen is boven fundeering der hoofden op ongewapend beton.*

## B. FUNDEERINGSBEMALING VOOR DE STUW.

**Peilen.** Bij de berekening van de benoodigde wateropbrengst voor drooglegging van den stuwput is voor den *hoogsten* grondwaterstand gedurende de laagwaterperiode van de Maas ter plaatse van de stuw aangehouden het peil van 20,00 M. + N.A.P.

Voor het *normale bedrijf* is aangehouden het peil van 18,00 M. + N.A.P.

---

(8) Men doet dan echter beter ook de muuren met behulp van bronbemaling in den droge te fundeeren, en dan vervalt het voordeel van afzonderlijke bemaling der hoofden.

Voor den gewenschten grondwaterstand in den fundeeringssput werd voor het diepst gefundeerde deel (de scheepvaartopening) een peil aangehouden van 11.50 + N.A.P., voor het minder diep gefundeerde deel (de afvoeropeningen) van 12.50 M. + N.A.P. Bij de berekening werd geen onderscheid gemaakt tusschen fundeering op gewapend of ongewapend beton. Door wapening van de fundeering van het diepst gelegen gedeelte van de stuw kan de dikte van de fundeeringsplaat slechts weinig verminderd worden, omdat deze dikte in de eerste plaats bepaald wordt door de stabiliteit van het werk.

Evenmin werden de opbrengsten voor gedeeltelijke drooglegging van de fundeeringssput berekend. Gedeeltelijke drooglegging is bij de stuw fundeering welke uit één geheel bestaat, veel minder op haar plaats dan bij de sluis, waar de hoofden afzonderlijk worden gefundeerd.

Voor de afmetingen van den stuwput werden de volgende globale cijfers aangehouden (figuur 15)

### Plattegrond Stuwput.

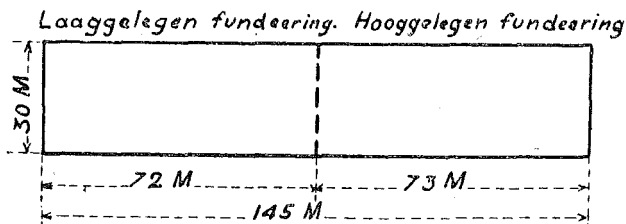


Fig. 15.

De uitkomsten der berekening betreffende drooglegging van den geheelen put, waarbij onderscheid is gemaakt tusschen plaatsing der bronnen binnen en buiten de damwanden, zijn weergegeven in de volgende tabel.

*Benodigde opbrengst ter bemaling van den stuwput in L. per seconde.*

	normaal (2)	maximaal (3)
Bemaling <i>buiten</i> den damwand . . . . .	780	1100
Bemaling <i>binnen</i> den damwand (1) . . . . .	540	760

(1) Bij de berekening werd verondersteld dat de weerstand  $1/5$  van de totale verlaging van den waterspiegel bedraagt.

(2) Verlaging van 18.00 M. + N.A.P. tot 12 M. + N.A.P.

(3) Verlaging van 20.00 M. + N.A.P. tot 12.40 M. + N.A.P.

Ook uit deze cijfers blijkt het voordeel, voortspruitende uit eene plaatsing der bronnen binnen den damwand.

De vereischte opbrengst is bij bemaling binnen den damwand ongeveer  $\frac{3}{4}$  van de opbrengst benoëdigd voor het droogleggen van den geheelen sluisput, wanneer de hoofden op platen van gewapend beton worden gefundeerd en de bronnen binnen den damwand worden geplaatst.

Het is dus zeer goed mogelijk een zelfde bemalingsinrichting zoowel voor de fundeering van de sluis als van de stuw te gebruiken.



## HOOFDSTUK IV.

### GLIBAAL ONTWERP EENER BEMALINGS- INRICHTING VOOR HET DROOGLEGGEN VAN DE SLUIS, MET RAMING VAN KOSTEN.

#### A. ONTWERP DER BEMALINGSINRICHTING.

Bij het ontwerp is uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

- a. de sluishoofden worden gefundeerd op platen van gewapend beton;
- b. de bronnen worden geplaatst binnen de damwanden welke de sluis tegen onderloopsheid beschermen.

Uit het vorig hoofdstuk blijkt dat bij normaalbedrijf, wanneer het grondwater in de fundeeringsput niet hooger mag stijgen dan 11,10 M. + N.A.P., de opbrengst ongeveer 700 L. per seconde bedraagt, terwijl bij maximum opbrengst van de bemalingsinrichting, wanneer 980 L. per seconde wordt opgevoerd, een stand van het grondwater wordt toegelaten van 11,50 M. + N.A.P.

**Watervang.** *Type der bronnen.* In verband met de opgedane ervaring wordt boven de bij de proefbemaling gebruikte bron met gaasfilter, dat gespannen is om een, van ronde gaten voorziene, ijzeren buis, de voorkeur gegeven aan een bron, waarvan de buis zelf als filter geconstrueerd is, namelijk een groot aantal langwerpige nauwe spleetjes bevat. Deze bronnen hebben het voordeel dat zij niet zoo spoedig door neerslag van ijzer verstopt raken en minder weerstand bieden bij intreding van het grondwater. Worden zij omgeven door een zorgvuldig gezeefd grindzandfilter dan is aanzuigen van fijne zanddeeltjes niet te vreezen.

De wijdte van de bron is bepaald op 0,2 M., de hoogte van het filter op 5 M., terwijl per M<sup>2</sup>. bronoppervlak ongeveer 18000 spleten

van 1 m.m. wijdte en 15 m.m. lengte voorkomen. De dikte van het grindfilter is bepaald op 0,15 M.

*Opbrengst der bronnen.* De proeven wezen uit dat voor dergelijke, zorgvuldig uitgevoerde bronnen in den ondergrond te Linne een opbrengst mag worden aangehouden van ongeveer 18 L. per seconde, zonder dat daarbij tusschen den waterspiegel buiten en dien binnen de bron zoodanige drukhoogte optreedt, dat de opvoerhoogte der pompen daardoor aanzienlijk vermeerdert.

Bij dit ontwerp is met een opbrengst bij normaalbedrijf van ongeveer 9 L., bij maximaalbedrijf van ongeveer 13 L. gerekend. In den watervang is dus een reserve van ongeveer 5 L. per bron aanwezig, welke vooral van waarde is wanneer de opbrengst grooter mocht blijken dan in het voorgaande werd aangenomen.

*Aantal bronnen.* In verband met de opbrengst der bronnen is het aantal bepaald op 80 stuks.

*Stijgbuizen en zuigleiding.* Uit de bronnen wordt het water door 0,125 M. wijde stijgbuizen gevoerd naar de zuigleiding. Deze laatste wordt in twee takken, elk aan een zijde van den put, uitgevoerd. In elke stijgbuis bevindt zich een afsluiter, welke in staat stelt elke bron afzonderlijk uit te schakelen. In de ringleiding zijn meerdere hoofdafsluiters geplaatst om gedeelten dezer leiding buiten bedrijf te kunnen stellen.

De gemiddelde hoogte van het centrum der ringleiding bedraagt 14,10 M. + N.A.P.

*Pomp- Opvoerhoogte der pompen.* De pompen loozen het water **inrichting.** door middel van persleidingen op bestaande greppels welke gedeeltelijk verruimd moeten worden. Deze greppels zijn gegraven in het dikke kleidek dat zich boven de grind- en zandlagen bevindt, zoodat kwel vanuit deze leidingen naar den sluisput niet te vreezen valt.

Om het water in deze greppels te loozen moeten de pompen het water opvoeren tot gem. 20,50 M. + N.A.P.

Bij normaalbedrijf wordt in den fundeeringsput een grondwaterstand van hoogstens 11,10 M. + N.A.P. gevorderd. Het peil in de bronnen behoeft bij zorgvuldige constructie en uitvoering der bronnen niet lager te staan dan 10,60 M. + N.A.P. Veiligheidshalve is dit peil 1 M. dieper aangehouden, dus op 9,60 M. + N.A.P.

Bij *normaal*bedrijf bedraagt dus de geometrische opvoerhoogte der pompen 20,50 M. — 9,60 M. = 10,90 M.

Bij *maximaal*bedrijf is een 0,40 M. hoogere stand van het grondwater toegelaten, zoodat in dit geval de opvoerhoogte kan worden aangehouden op 10,50 M.

*Electrisch bedrijf of stoombedrijf.* Bij electrisch bedrijf is een ver doorgevoerde verdeeling van het totaal pompvermogen over zeer vele pompaggregaten mogelijk. Worden deze vele kleine aggregaten regelmatig over de ringleiding verdeeld, dan kunnen daarvan de afmetingen en daarmee de kosten aanmerkelijk worden beperkt.

Bij stoombedrijf is een zoo ver doorgevoerde decentralisatie als bij electrisch bedrijf niet mogelijk omdat kleine stoomaggregaten in bedrijf zoowel als bediening te weinig economisch zijn.

De capaciteit en het aantal der pompen wordt dus mede beïnvloed door de keuze der bedrijfskracht.

Bij dit globaal ontwerp is aan stoombedrijf de voorkeur gegeven. Hoewel aan electrisch bedrijf een aantal voordeelen niet mogen worden ontzegd, is stoombedrijf uit het oogpunt van bedrijfszekerheid verre te verkiezen, omdat tusschen de energiebron en de pompen minder omzettingen en overbrengingen, dus minder bronnen van bedrijfsstoringen worden geschakeld dan bij electrisch bedrijf. Bij electrische aandrijving der pompen zou zeker moeten worden geëischt dat tijdens het betonneeren der sluisput, locomobielen het pompbedrijf onmiddellijk zouden kunnen overnemen, waardoor echter de meeste voordeelen van het electrisch bedrijf te niet zouden worden gedaan.

*Aantal en capaciteit der pompen.* Maximaal moeten de pompen 1000 L. per seconde opbrengen, bij normaalbedrijf ongeveer 700 L. per seconde.

Daarvoor zijn 8 centrifugaalpompen van gemiddeld 145 L. opbrengst per seconde bij een geometrische opvoerhoogte van 10,90 M. en een manometrische opvoerhoogte van 14½ M. ruim voldoende. Moeten de pompen als uitzondering 1000 L. per seconde opbrengen dan zijn 7 pompen in bedrijf. In dat geval bevindt zich dus steeds één pomp in reserve, terwijl in de pompen zelf eveneens reserve aanwezig is.

Bij een opbrengst van 700 L., welke ongeveer overeenkomt met den M.R. stand in de rivier kan volstaan worden met 5 pompen, zoodat als reserve dus 3 pompen aanwezig zijn.



Tijdens de bemaling in de zomermaanden zal echter als regel minder water worden opgebracht, zoodat dus slechts 4 pompen in bedrijf zijn. Wordt de bemalingsinrichting later tevens voor den stuwput gebruikt, dan zijn daarvoor 6 van de 8 pompen voldoende voor de maximum opbrengst, terwijl bij normaal bedrijf 4 pompen volstaan, eene verdeeling die zeer gunstig kan worden genoemd.

Van de 8 pompen worden bij de bemaling van de sluisput 4 aan elke zijde geplaatst.

**Aandrijving** In elk pompstation zijn twee locomobielen aanwezig door van 40 P.K. welke hun kracht door middel van een locomobielen. gemeenschappelijke transmissie-as aan de pompen afgeven, zoodat elk der twee pompen door elk der twee locomobielen kan worden aangedreven.

Deze transmissie-as drijft tevens een luchtpomp welke uit den luchtketel gassen en lucht wegzuigt.

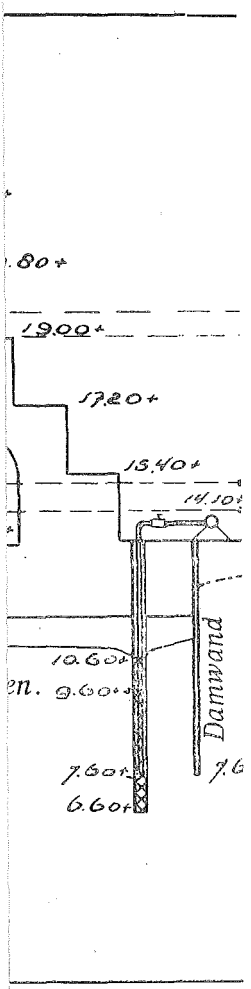
Wordt 1000 L. door 7 pompen opgebracht dan is één locomobiel als reserve aanwezig. Door het feit dat deze stoomwerktuigen sterk kunnen worden overbelast, is inderdaad aanmerkelijk meer reserve aanwezig.

Is een zoodanige groote reserve misschien uit het oogpunt van bedrijfszekerheid overbodig, zij is niettemin op haar plaats omdat het daardoor mogelijk is bij zeer langdurige hooge wassen zelfs meer dan 1000 L. op te voeren, waartoe zoowel de pompen als de watervang in staat zijn.

**Opstelling van** Het gemiddeld peil der bronnen werd aangenomen op de inrichting. 9,60 M. + N.A.P. In verband met de beperkte zuighoogte der centrifugaalpompen worden zuigleiding en pompen opgesteld op ongeveer 14,— M. + N.A.P. d.w.z. eenige meters onder den natuurlijke grondwaterstand. Voordat deze opstelling mogelijk is, dient dus het grondwater te worden afgemalen tot beneden 14,— M. + N.A.P. De daarvoor noodige wateropbrengst bedraagt bij normaal bedrijf 320 L., maximaal 480 L. per seconde, zoodat daarvoor een dertigtal bronnen en 3 of 4 pompen voldoende zijn.

De gang der werkzaamheden is de volgende:

Eerst worden de gaten voor de dertig bronnen gepulst. Deze worden geplaatst en aangesloten aan een zuigleiding welke juist boven



ringen met deksels.

het natuurlijke grondwater ligt. Tijdens de verlaging van het grondwater wordt de ontgraving van den sluisput in den droge krachtig ter hand genomen. Heeft het grondwater het peil van 14,— M. + N.A.P. bereikt en is ook de ontgraving tot dat peil gevorderd, dan kan een aanvang worden gemaakt met het heien der damwanden, terwijl tegelijkertijd de overige bronnen worden geplaatst en aangesloten op de inmiddels geheel of gedeeltelijk opgestelde *laaggelegen* zuigleiding. Zijn van deze bronnen een dertigtal in werking dan kan de bovenste zuigleiding worden afgebroken en kan het materiaal in de laagte worden opgesteld.

**Verwijderen van de inrichting.** Bij het verwijderen van de inrichting wordt dezelfde werkwijze doch in tegengestelden zin gevolgd. Eerst wordt dus een gedeelte der laaggelegen zuigleiding gedemonteerd en als bovenste zuigleiding opgesteld. Daaraan worden 32 bronnen, die door een opzetstuk verhoogd zijn, aangesloten terwijl inmiddels eenige pompen naar deze bovenste zuigleiding zijn verplaatst. Is deze bovenste zuigleiding in bedrijf, dan kan een peil van ongeveer 14,— M. + N.A.P. worden gehandhaafd en kan het resterende deel der inrichting zonder moeite in den droge worden verwijderd. Dit is ook nog mogelijk bij een groot gedeelte der overblijvende bronnen, daar bij lagen buitenwaterstand de noodige opbrengst door 10 tot 12 bronnen kan worden geleverd.

Bij het trekken der laatste bronnen stroomt de put vol.

De brongaten worden onder druk volgebetonneerd. Reeds tijdens de uitvoering van het muurwerk om de bronbuis, is om de bronbuis heen een gietijzeren mof in het muurwerk ingebetonneerd. Nadat de bronnen getrokken zijn, wordt daarop een ijzeren deksel opgeschroefd en het geheel door beton overdekt, zoodat de brongaten in het muurwerk geen ondichtheden kunnen vormen (figuur 16).

**Begin van het werk.** Fundeering in den droge van de sluis te Linne is seizoenwerk. De hooge wintervloeden overstroomden het Maasdal en van drooghouden van den diepen fundeeringssput is geen sprake, tenzij men den put omringt door een kade en een buitensporig krachtige en dure bemaling toepast.

Bij het opstellen van de bemalingsinrichting moet hiermede rekening worden gehouden. De bemalingsinrichting moet reeds tijdens

de hoogwaterperiode zoo ver mogelijk worden opgesteld, opdat bij den aanvang van de laagwaterperiode met voorbereidend werk geen tijd verloren gaat.

Dit voorbereidend werk omvat: *a.* ontgraving van den sluisput tot 17,— à 18,— M. + N.A.P.; *b.* opstelling van de bovenste zuigleiding met daarop aansluitende bronnen en pompen; *c.* opstelling van een groot deel der overige bronnen; *d.* opstelling der locomobielen, enz.

## B. RAMING DER KOSTEN.

Op de volgende bladz. (41 en 42) is weergegeven de raming van kosten van het globaal ontwerp van de bronbemaling voor de fundeering van de sluis te Linne en wel (*a*) volgens de prijzen van voor den oorlog en (*b*) de prijzen welke in het begin van 1917 heerschten.

Uit deze raming zijn de bemalingskosten berekend voor de volgende gevallen:

- I. De bemalingsinrichting wordt in haar geheel uitsluitend voor de fundeering van de sluis te Linne gebruikt: *a.* gedurende één seizoen; *b.* gedurende twee achtereenvolgende seizoenen.
- II. De bemalingsinrichting wordt gedurende één seizoen voor de sluisfundeering gebruikt en daarna voor de stuwfundeering.

In het eerste geval komt een grooter afschrijvingsbedrag ten laste der bemalingskosten als in het tweede geval. Echter werd in dit geval voor den watervang een afschrijving van 40 %, voor de pompinrichting van 25 % ruim voldoende geacht, omdat de geheele inrichting, enkele onderdeelen als filters, enz. uitgezonderd, uit gangbaar materiaal bestaat, dat voor allerlei doeleinden kan worden gebezigd en na gebruik gemakkelijk van de hand kan worden gedaan, daar groote slijtage van het materiaal en chemische aantasting in dit geval niet te vreezen is.

De uitkomsten dezer berekeningen zijn weergegeven op bladz. 42.

*Globaal ontwerp bronbemaling voor de sluis te Linne. Raming der kosten.*

Hoeveel- heden.	OMSCHRIJVING.	Prijzen vóór den oorlog.			Prijzen aanvang 1917.		
		Eenheids- prijs.	Bedrag.	Totaal bedrag.	Eenheids- prijs.	Bedrag.	Totaal bedrag.
<i>A. Aanschaffingskosten van den watervang.</i>							
80 stuks	Bronnen wijd 200 m.m., 5 M. filter- lengte met zuigbuis en afsluiters	f 100,—	f 8 000		f 160,—	f 12 800	
700 M'.	Zuigleiding, diameter 350 m.m.	17,50	12 250		28,—	19 600	
200 M'.	Zuigleiding, diameter 150 m.m.	5,—	1 000		8,—	1 600	
16 stuks	Groote afsluiters . . . . .	100,—	1 600		160,—	2 560	
Stelpost —	Steigerwerk ter ondersteuning .	—	1 150		—	1 840	
	<u>Totaal . . . . .</u>			f 24 000			f 38 400
<i>B. Opstelkosten van den watervang.</i>							
80 stuks	Bronnen plaatsen (pulsen, stellen en van grintmantel voorzien).	f 55,—	f 4 400		f 66,—	f 5 280	
700 M'.	Zuigleiding, diameter 350 m.m.	4,50	3 150		5,40	3 780	
200 M'.	Zuigleiding, diameter 150 m.m.	2,50	500		3,—	600	
80 stuks	Haalleiding in de bronnen stellen, inhangen en aansluiten . . . . .	18,—	1 440		21,60	1 728	
Stelpost —	Transportkosten . . . . .	—	1 510		—	1 812	
	<u>Totaal . . . . .</u>			f 11 000			f 13 200
<i>C. Aanschaffingskosten van de pompinrichting.</i>							
8 stuks	Pompen van 140 L. per seconde opbrengst . . . . .	f 840,—	f 6 720		f 1 344,—	f 10 752	
4 stuks	Luchtpompen . . . . .	240,—	960		384,—	1 536	
4 stuks	Vacuümketels . . . . .	480,—	1 920		768,—	3 072	
250 M'.	Persleiding, diameter 400 m.m.	22,—	5 500		35,20	8 800	
Stelpost —	Meetinstrumenten en lichtinstal- latie . . . . .	—	3 900		—	6 240	
	<u>Totaal . . . . .</u>			f 19 000			f 30 400
<i>D. Opstelkosten van de pomp- inrichting.</i>							
Stelpost 4	Machineloodsen, opstellen, trans- portkosten . . . . .	f 2 000,—	f 8 000		f 2 400,—	f 9 600	
Stelpost —	Verbetering van watergangen .	—	2 000		—	2 400	
	<u>Totaal . . . . .</u>			f 10 000			f 12 000
<i>E. Bedrijfskosten.</i>							
1 maand	Locomobielhuur (8 stuks van 40 P.K.) . . . . .	175,—	f 1 400		f 175,—	f 1 400	
1 maand	Loon (12 man). . . . .	75,—	900		100,—	1 200	
1 maand	Brandstof, 150 ton . . . . .	12,—	1 800		26,—	3 900	
1 maand	Onderhoud en reparatie . . . . .	—	400		—	500	
1 maand	Smeermiddelen en poetsmiddelen	—	200		—	250	
	<u>Totaal . . . . .</u>			f 4 700			f 7 250

I. De bemalingsinrichting wordt in haar geheel uitsluitend voor de fundeering der sluis gebruikt.

a. Gedurende één seizoen.

POSTEN.	Prijs vóór den oorlog.	Prijs aanvang 1917.
A. Afschrijving van den watervang 40 % . . . . .	f 9600	f 15360
B. Opstelkosten van den watervang . . . . .	11000	13200
C. Afschrijving aan de pompinrichting 25 % . . . . .	4750	7600
D. Opstelkosten van de pompinrichting. . . . .	10000	12000
E. Bedrijfskosten (10 maanden) . . . . .	47000	72500
Totaal . . . . .	f 82350	f 120660

b. Gedurende twee achtereenvolgende seizoenen.

POSTEN.	Prijs vóór den oorlog.	Prijs aanvang 1917.
A. Afschrijving van den watervang 55 % . . . . .	f 13200	f 21120
B. Opstelkosten van den watervang . . . . .	11000	13200
C. Afschrijving van de pompinrichting 35 % . . . . .	6650	10640
D. Opstelkosten van de pompinrichting. . . . .	10000	12000
E. Bedrijfskosten (16 maanden) . . . . .	75200	116000
Totaal . . . . .	f 116050	f 172960

II. De bemalingsinrichting wordt gedurende één seizoen voor de sluisfundeering en daarna voor de stuwfundeering gebruikt.

POSTEN.	Prijs vóór den oorlog.	Prijs aanvang 1917.
A. Afschrijving van den watervang 55 % . . . . .	f 13200	f 21120
B. Opstelkosten van den watervang, 2 maal (1) . . . . .	21500	25800
C. Afschrijving van de pompinrichting 35 % . . . . .	6650	10640
D. Opstelkosten van de pompinrichting, 2 maal (1) . . . . .	16000	19200
E. Bedrijfskosten, 2 maal (10 maanden) . . . . .	94000	145000
Totaal . . . . .	f 151350	f 221760
Ten laste van de sluisfundeering $\frac{1}{2}$ . . . . .	75675	110880

(1) Bij de opstelkosten vallen bij het voor de tweede maal opstellen een deel der transportkosten weg.

## HOOFDSTUK V.

### CONCLUSIES.

**Waarde van de proefnemingen en van de daarop gebaseerde berekeningen.** Voordat uit de berekende resultaten conclusies worden getrokken, doet zich de vraag voor welke waarde aan die berekeningen mag worden gehecht. Bij de beantwoording dienen dan allereerst de zwakke punten te worden aangewezen in het betoog, dat leidde tot opstelling der eindcijfers.

In de *eerste plaats* werd bij de proeven het grondwater maximaal verlaagd met ongeveer 3,40 M. of tot ongeveer 14,20 + N.A.P. terwijl bij de definitieve bemaling verlaging moet plaats hebben met ongeveer 6,50 M. of tot 11,10 M. + N.A.P. De cijfers voor de waarschijnlijke opbrengst bij bemaling van den fundeeringsput werden dus gevonden door extrapolatie.

In de *tweede plaats* kan de hoogste onafgemalen grondwaterstand, welke de grootste opbrengst bepaalt, zelf gevolg van de toestrooming van grondwater uit de hooge gronden en van den rivierstand, wel worden benaderd, maar niet worden bepaald.

In de *derde plaats* kan de grootte van den invloed van een omringenden damwand op de toevloeiing naar de bronnen en dus op de noodige opbrengst, niet worden bepaald. Het materiaal dat hierop betrekking heeft, is uiterst beperkt.

De bezwaren verbonden aan deze zwakke punten in de berekening werden overal door het kiezen van een ruimen veiligheidscoëfficiënt ondervangen.

Bovendien is daaraan tegemoet gekomen door een bemalingsinrichting te ontwerpen, welke een grooter wateropbrengst kan geven dan volgens de berekening noodig blijkt.

Ook naar aanleiding der prijzen kunnen bedenkingen tegen de einduitkomst worden geopperd. Deze zijn echter niet te ondervangen.

## HOOFDSTUK V. CONCLUSIES.

**Waarde van de proefnemingen en van de daarop gebaseerde berekeningen.** Voordat uit de berekende resultaten conclusies worden getrokken, doet zich de vraag voor welke waarde aan die berekeningen mag worden gehecht. Bij de beantwoording dienen dan allereerst de zwakke punten te worden aangewezen in het betoog, dat leidde tot opstelling der eindcijfers.

In de *eerste plaats* werd bij de proeven het grondwater maximaal verlaagd met ongeveer 3,40 M. of tot ongeveer 14,20 + N.A.P. terwijl bij de definitieve bemaling verlaging moet plaats hebben met ongeveer 6,50 M. of tot 11,10 M. + N.A.P. De cijfers voor de waarschijnlijke opbrengst bij bemaling van den fundeeringsput werden dus gevonden door extrapolatie.

In de *tweede plaats* kan de hoogste onafgemalen grondwaterstand, welke de grootste opbrengst bepaalt, zelf gevolg van de toestrooming van grondwater uit de hooge gronden en van den rivierstand, wel worden benaderd, maar niet worden bepaald.

In de *derde plaats* kan de grootte van den invloed van een omringenden damwand op de toevloeiing naar de bronnen en dus op de noodige opbrengst, niet worden bepaald. Het materiaal dat hierop betrekking heeft, is uiterst beperkt.

De bezwaren verbonden aan deze zwakke punten in de berekening werden overal door het kiezen van een ruimen veiligheidscoëfficiënt ondervangen.

Bovendien is daaraan tegemoet gekomen door een bemalingsinrichting te ontwerpen, welke een grooter wateropbrengst kan geven dan volgens de berekening noodig blijkt.

Ook naar aanleiding der prijzen kunnen bedenkingen tegen de einduitkomst worden geopperd. Deze zijn echter niet te ondervangen.



Ramingen hebben in den tegenwoordigen tijd (voorjaar 1917) hoofstems betrekking op een bepaald tijdstip; zij zijn bij de snelle wisseling der prijzen, waarbij de onderlinge verhouding geenszins bewaard blijft, op een ander tijdstip niet meer van toepassing.

#### Conclusies.

- I. Het fundeeren van de sluis en de stuw te Linne in den droge met behulp van bronbemaling is zeer goed mogelijk.
- II. Algeheele drooglegging van den fundeeringsput is uit het oogpunt van bemalingskosten aan te bevelen boven achtereenvolgende gedeeltelijke droogleggingen.
- III. Plaatsing der bronnen binnen den damwand, welke ter bescherming tegen onderloopsheid het kunstwerk omsluit, is voordeelig.
- IV. Fundeering der hoofden op gewapend beton is aan te bevelen boven fundeering op ongewapend beton.
- V. Algeheele drooglegging van den sluisput kost, wanneer de bronnen binnen den damwand worden geplaatst, en de hoofden op gewapend beton worden gefundeerd, gedurende één seizoen f 82350 (prijzen vóór den oorlog) of f 120660 (aanvang 1917), gedurende twee seizoenen f 116050 (prijzen vóór den oorlog) of f 172960 (aanvang 1917).
- VI. Wanneer de sluis in een zoodanig tempo wordt uitgevoerd, dat de volledige bemalingsinrichting slechts één seizoen in bedrijf is, worden op de bemalingskosten aanzienlijke sommen bespaard.
- VII. De bemalingskosten verminderen wanneer de bemalingsinrichting achtereenvolgens voor de sluis en de stuw te Linne, en de sluis en de stuw te Roermond of voor eenige dier werken wordt gebruikt.

## HOOFDSTUK VI.

### VERGELIJKING MET ANDERE FUNDEE- RINGSMETHODES.

(1) *Droogleggen van den sluisput met behulp van open bemaling.*

Bij open bemaling van de sluisput zal het, evenals bij bronbemaling, voordeelig zijn de hoofden te fundeeren op gewapende betonplaten.

Het grondwater wordt niet als bij bronbemaling verzameld in vertikale buizen, maar in horizontale drainagegeulen. Uit deze drainagegeulen stroomt het water door afvoergeulen naar verzamelputten, van waaruit de pompen het opvoeren. Drainage- en afvoergeulen moeten in verband met de zeer groote wateropbrengst een ruim en diep profiel hebben.

Bemaling binnen de damwanden, welke later deel zullen uitmaken van de sluisfundeering, is dan niet mogelijk, daar de drainage- en afvoergeulen binnen den damwand te veel plaats zouden innemen. Bij open bemaling zal de opbrengst daarom grooter moeten zijn dan bij bronbemaling.

Open bemaling heeft op bronbemaling voor, dat geen bronnen materiaal behoeft te worden aangeschaft en de opstelkosten geringer kunnen zijn. Echter wordt het eindcijfer der bemalingskosten slechts in betrekkelijk geringe mate beïnvloed door rente en afschrijving van het in de bronnen gestoken kapitaal en de opstelkosten.

Ten nadeele van de open bemaling komt een aanzienlijk grooter grondverzet, omdat de afvoersloten de oppervlakte van den putbodem belangrijk vergrooten.

Bij open bemaling zal de manometrische opvoerhoogte der pompen ongeveer even groot moeten zijn als bij bronbemaling met goede bronconstructie.

De wateropbrengst geeft dan ook bij de totale bemalingskosten den doorslag en deze is ongetwijfeld in dit geval bij open bemaling,

buiten de damwanden, grooter dan bij bronbemaling binnen de damwanden, zoodat aangenomen mag worden dat de totale bemalingskosten bij open bemaling grooter zijn dan bij bronbemaling.

Terwijl bij open bemaling uitspoeling van de fijne zanddeeltjes tusschen de grove grindkorrels, vorming van wateraderen en wellen zijn te vreezen, treden deze, vooral voor werken met groot verval zoo gevaarlijke verschijnselen, bij bronbemaling niet op.

Zelfs wanneer bij deze laatste bemalingswijze een verplaatsing van fijne gronddeeltjes mocht optreden, dan geschiedt deze radiaalsgewijs over 80, over den omtrek van de sluisput verdeelde, bronnen, zoodat geen doorlopende wateraderen worden gevormd, terwijl het bronfilter uitspoeling van den bodem nog tegen gaat.

Aan bronbemaling zijn bovendien nog de volgende voordeelen verbonden: de ontgraving van den fundeeringsput kan geheel in den droge plaats hebben, wat bij open bemaling niet mogelijk is; voor de fundeering wordt niet meer grond verzet dan stipt noodzakelijk is.

Terwijl dus te Linne open bemaling geene belangrijke voordeelen biedt boven bronbemaling, moet om technische redenen aan deze laatste bemalingswijze de voorkeur worden gegeven.

(2) *Fundeering op een onder water gestorte betonkoek.* Bij de fundeering van hoofden en kolkmuuren kan onder water tusschen damwanden een dikke betonkoek gestort worden. Na verharding van de beton wordt het water op de betonkoek weggemalen, waarna de bouw der hoofden en muuren verder in den droge kan geschieden.

Technisch is deze methode geenszins op een lijn te stellen met fundeeren in den droge omdat de qualiteit van het fundeeringswerk onvoldoende kan zijn. Bovendien is het onzeker of met deze methode een belangrijke besparing kan worden bereikt tegenover bemaling van den sluisput. Eenerzijds is de eenheidsprijs van de beton aanmerkelijk hooger dan bij fundeering in den droge, anderzijds is een veel grootere hoeveelheid van dit materiaal noodig; bovendien wordt een veel grooter bedrag voor ijzeren damplanken gevorderd.

Zelfs wanneer deze methode eenig financieel voordeel zou bieden, wat lang niet zeker is, moet zij om technische redenen bij fundeering in den droge worden achtergesteld.

(3) *Fundeering op putten.* Daar de ondergrond te Linne uit een niet homogeen mengsel van grind en zand bestaat, hier en daar ver-

mengd met rolsteen, is bij een fundeering op putten ernstig te betwijfelen of de putten rechtstandig en zonder bezwaar naar beneden zijn te brengen, zoodat deze methode voor Linne niet is aan te bevelen.

(4) *Pneumatische fundeering*. Bij pneumatische fundeering is de uitvoering onafhankelijk van den grondwaterstand. Seizoenwerk is hier dan ook niet noodig. Echter is pneumatische fundeering voor de zeer uitgestrekte, tevens weinig diepe fundeeringen van sluis en stuw te Linne in vergelijking met andere fundeeringsmethodes blijkens onderzoek abnormaal duur, terwijl daarvoor uitermate geschoold personeel noodig is.

(5) *Fundeering op te voren geconstrueerde, ter plaatse gedreven en gezonken bakken*. Bij deze fundeeringswijze worden bakken van gewapend beton geconstrueerd, worden deze naar de gewenschte plaats gedreven en daar gezonken. Daarna kan in of op deze bakken het muurwerk in den droge worden opgetrokken.

Aan deze methode is het groote nadeel verbonden, dat een innige aansluiting van de fundeering aan den weinig plastischen ondergrond niet te verwachten is, zoodat onder de bakken open ruimten overblijven. Deze ruimten kunnen wel worden volgespoten, doch het is twijfelachtig of voldoende samenhang met den bodem ontstaat. Bovendien is een aansluiting der bakken aan de daaromheen geslagen damwanden uiterst moeilijk. Aan deze methode is dus zeer veel risico verbonden; zij kan dan ook voor een kunstwerk met aanzienlijk verval niet worden aanbevolen.

(6) *Fundeering der kolkmuuren op gewapend beton palen*. Worden voor de hoofden en de kolkmuuren verschillende fundeeringsmethodes toegepast, dan kan voor deze laatste een hooge betonpaalfundeering in aanmerking komen. Het voordeel van deze hooge fundeering is dan gelegen in het feit dat voor de kolkmuuren geene of een weinig krachtige bemaling behoeft opgesteld te worden. Voor de palen komen gewapend beton palen in aanmerking, welke ter plaatse in den bodem worden vervaardigd. Aan deze uitvoering is veel risico verbonden, bovendien is een dergelijke muur niet goedkoper dan een „volle” muur welke in den droge wordt gebouwd, terwijl deze laatste veel meer zekerheid tegen vooroverkomen biedt.

Toepassing dezer methode is slechts op haar plaats, wanneer

ook van bemaling der hoofden wordt afgezien en deze gefundeerd worden op eene onder water gestorte betonkoek of met behulp van een der pneumatische methodes.

In het algemeen is aan toepassing van meerdere fundeeringsmethodes bij hetzelfde werk het belangrijke bezwaar verbonden dat de aannemer over een groote verscheidenheid van vakmensen en materiaal moet beschikken, welke op minder economische wijze worden gebruikt dan wanneer het geheele werk met één fundeeringsmethode wordt uitgevoerd, terwijl daardoor belangrijke vertraging in het werk kan ontstaan.

(7) *Bevriess methode*. Bij den bouw van de nieuwe sluizen te Brunsbüttel en te Holtenau in het Kaiser-Wilhelm-kanaal en de nieuwe sluis te Emden, waar men voor de taak stond den grondwaterspiegel in fijn zand, ruim 20 M. te verlagen en te voren het resultaat niet verzekerd was, werd tevens een fundeeringsontwerp met behulp der bevriessmethode uitgewerkt. (9) Met de resultaten voor oogen welke bij het maken van mijnschachten bereikt zijn, kan gezegd worden dat de bevriessmethode, vooral wanneer zij aan den sluizenbouw meer wordt aangepast, en een ononderbroken, vrij dunne ijslaag gevormd wordt onder een dikke deklaag van grind, in de toekomst zeker eenige waarde heeft. Het afsluiten van den geheelen sluisput door middel van een ijskist, waar binnen men in den droge werkt, leidt echter tot zéér hooge kosten, zoodat het aangewezen zou zijn, deze methode slechts plaatselijk voor de hoofden te gebruiken en de kolkmuuren op eenvoudiger wijze te fundeeren. Het is waarschijnlijk dat in den zeer doorlaatbaren ondergrond te Linne het rendement der bevriessmethode slecht zou zijn, daar de ononderbroken sterke strooming van het grondwater een groote hoeveelheid warmte toevoert. Deze methode komt tegenover de meer zekerheid gevende bronbemaling, waarbij de geheele sluis in den droge kan worden uitgevoerd, niet in aanmerking.

(8) *Versteening van den bodem door cementinspuiting*. Terwijl bij de evengenoemde methode de grind- en zanddeeltjes door ijs gebonden worden, kan zulks ook geschieden door cement, dat met water vermengd in den bodem wordt geperst. Terwijl in het eerste geval na staking der bevroezing, de oorspronkelijke toestand hersteld wordt,

---

(9) Zie «Gefrierverfahren für Schleusengründungen» door ROGGE, «Zentralblatt der Bauverwaltung» 1915, bladz. 9.

blijft in het tweede geval de beton in den bodem. Het zou verleidelijk zijn deze beton als integreerend deel van het bouwwerk te gebruiken. Echter bestaat geen zekerheid omtrent de kwaliteit van het materiaal. De bodem te Linne bestaat wel is waar uit een grindzandmengsel dat hier en daar de goede betonaggregaten dicht nabij komt, maar de samenstelling is zeer weinig gelijkmatig, zoodat voor het verkrijgen van een goede beton hier veel, daar weinig cement moet worden toegevoegd, terwijl de vereischte hoeveelheid bij het inspuiten niet bekend is. Bovendien is het onzeker of met deze methode wel een samenhangende plaat te verkrijgen is; veeleer zullen zich grillige betonlichamen vormen om het benedeneinde van de persbuizen (zie resultaten bij pers-betonpalen). Toch belooft deze methode wel iets. Met name zou beproefd kunnen worden om op eenige diepte beneden den putbodem een, zij het dan ook niet samenhangende, dan toch minder doorlaatbare laag tusschen de omsluitingsdamwanden te maken, welke aan de streaming van het grondwater naar de bronnen een grooten weerstand biedt. De benoodigde opbrengst der bemaling zou daardoor belangrijk kunnen verminderen. Daar echter aanwijzingen ontbreken, die het welslagen van de plaat verzekeren, mag voor de werken te Linne op deze methode niet worden vertrouwd. Het verdient echter aanbeveling met het oog op later uit te voeren werken, proeven te nemen.

Bij den bouw van de sluis en de stuw te Linne verdient fundeering in den droge boven andere fundeeringsmethodes de voorkeur.

Zooals uit de berekening op bldz. 42 blijkt, zijn aan het drooghouden van den put geen buitengewoon zware financieele offers verbonden wanneer, zooals in de bedoeling ligt, het te gebruiken materiaal voor meerdere gelijksoortige werken wordt gebruikt, terwijl met deze methode groote voordeelen worden bereikt.

Bij fundeeren in den droge kan de constructie eenvoudig zijn; voor de uitvoering zijn geen speciale vakmensen noodig; de kwaliteit van het werk kan voortdurend goed worden gecontroleerd. Daardoor is het mogelijk met een minimum hoeveelheid materiaal tegen lage eenheidsprijzen betrouwbaar werk te leveren.

Dit laatste is vooral bij de werken te Linne een vereischte. Zij behooren tot de eerste werken met groot verval welke hier te lande

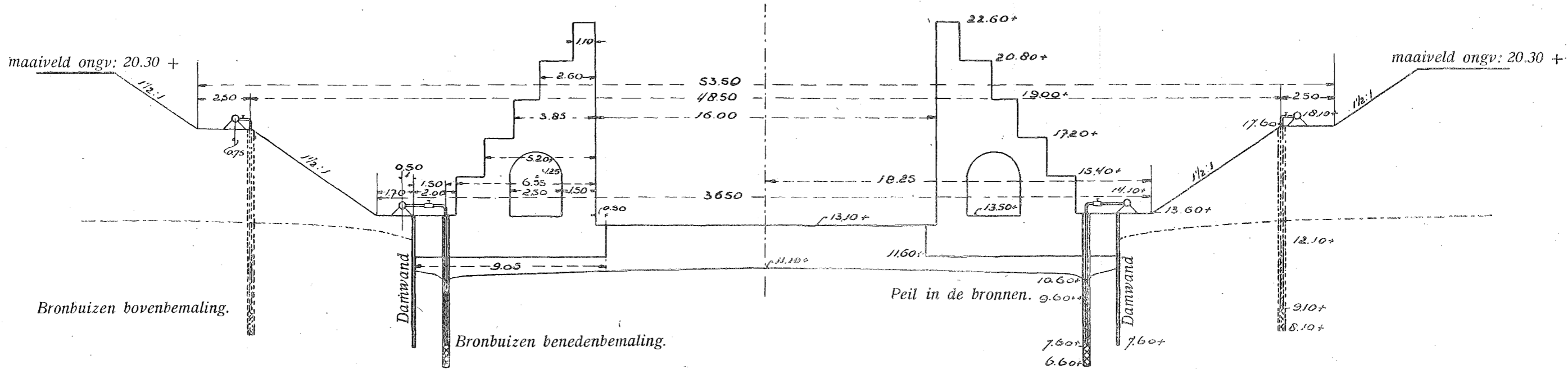
in doorlaatbaren bodem worden gebouwd, zoodat aan een goede uitvoering van de fundeering groote waarde is te hechten.

Waar ten slotte, zooals reeds werd betoogd, drooghouden van den fundeeringsput door bronbemaling de voorkeur verdient boven drooghouden met behulp van open bemaling, is toepassing van bronbemaling bij de sluis en stuw te Linne voor naar verhouding niet te groote offers, niet alleen mogelijk, maar ook ten sterkste aan te bevelen.

Maastricht, 7 Maart 1917.

*De Ingenieur van den Rijkswaterstaat,*

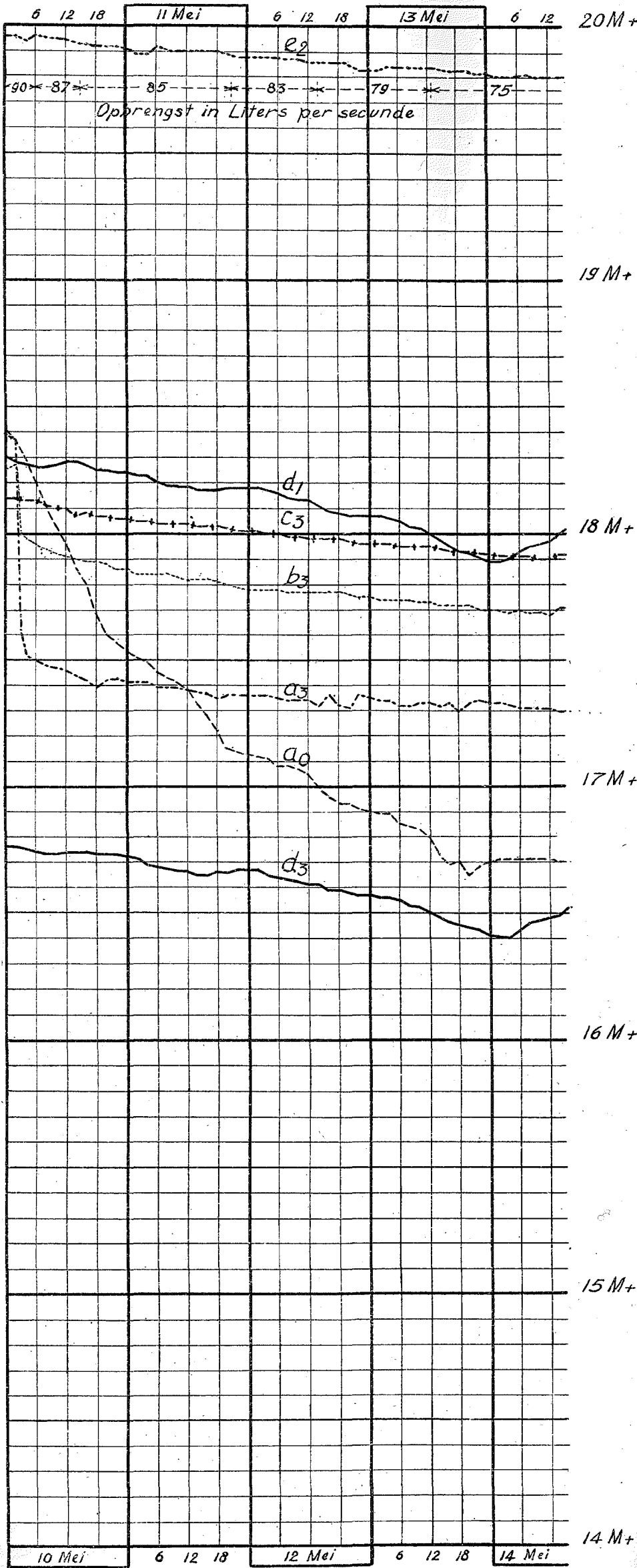
G. P. NIJHOFF.



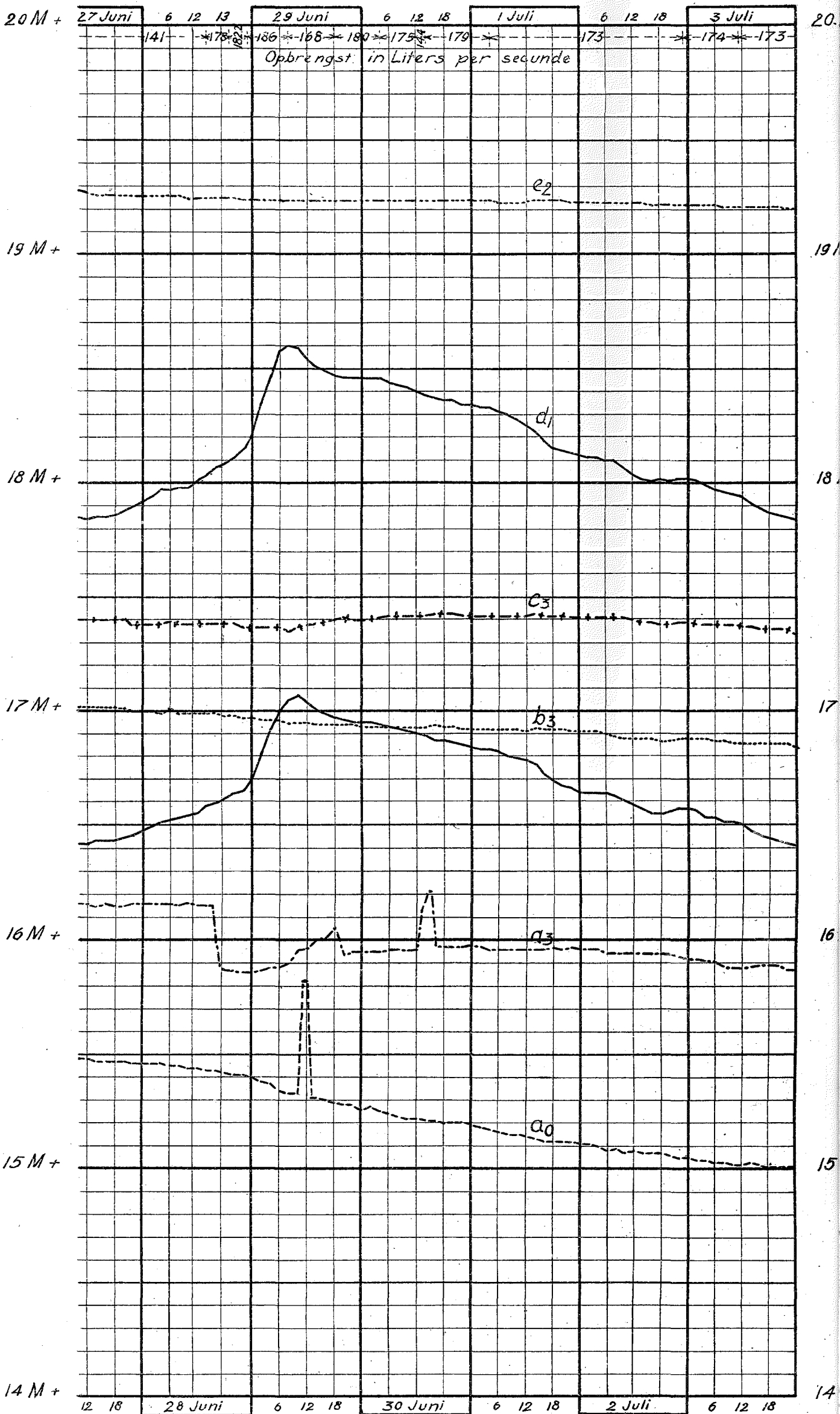
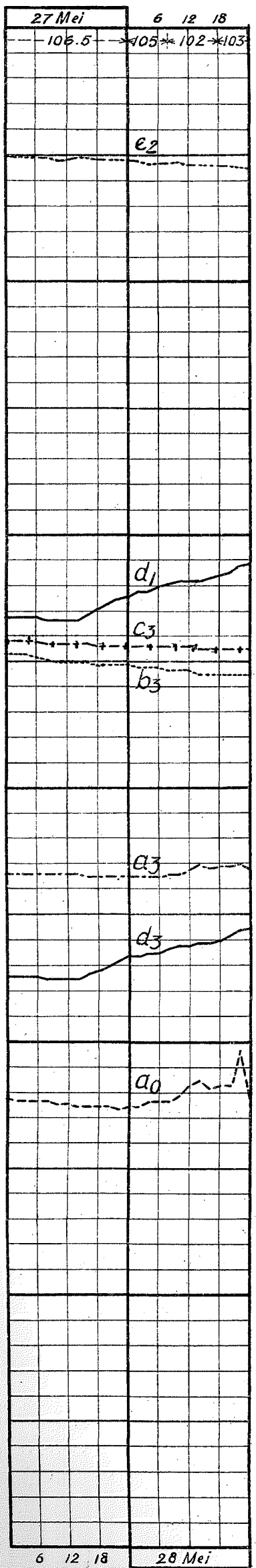
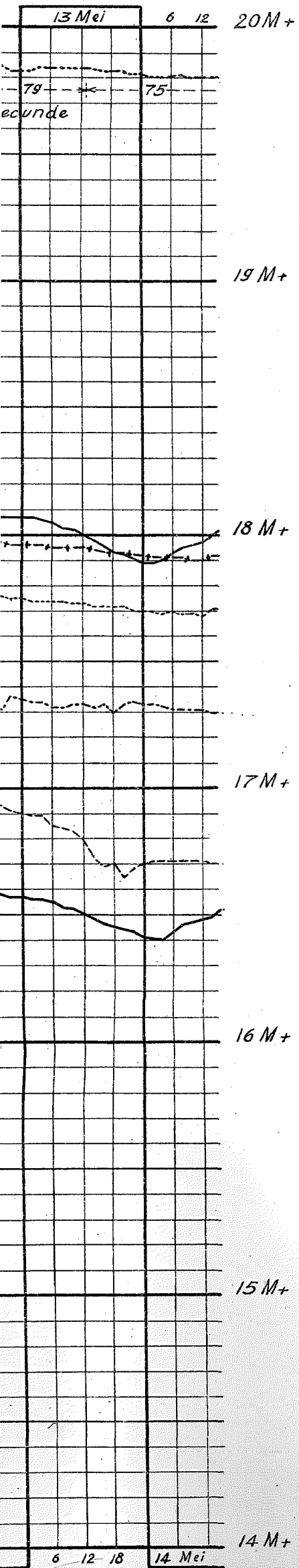
FIGUUR 16.

Plaatsing der bronnen binnen den damwand. Dichting der gaten in de beton door middel van ijzeren ringen met deksels.



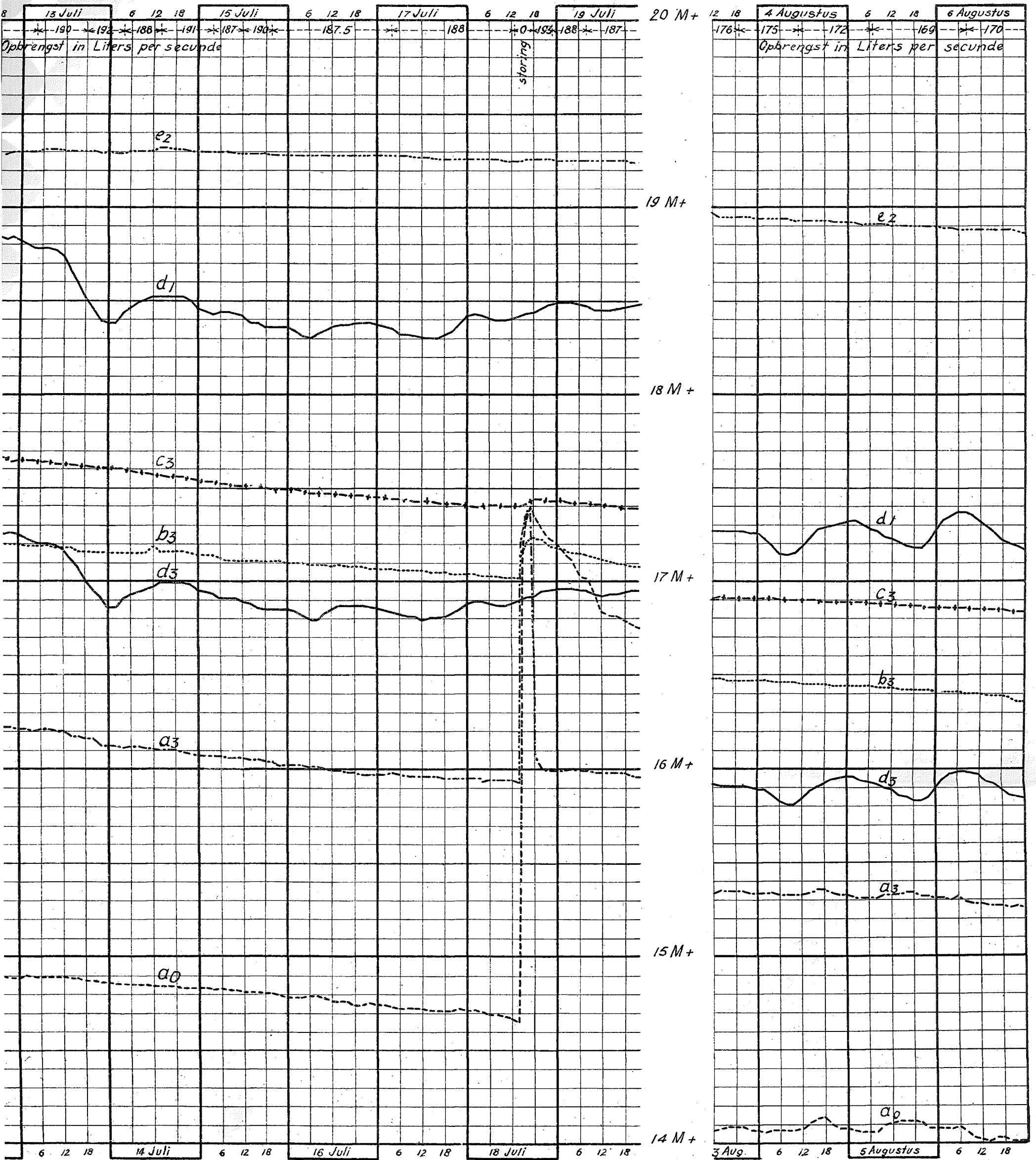


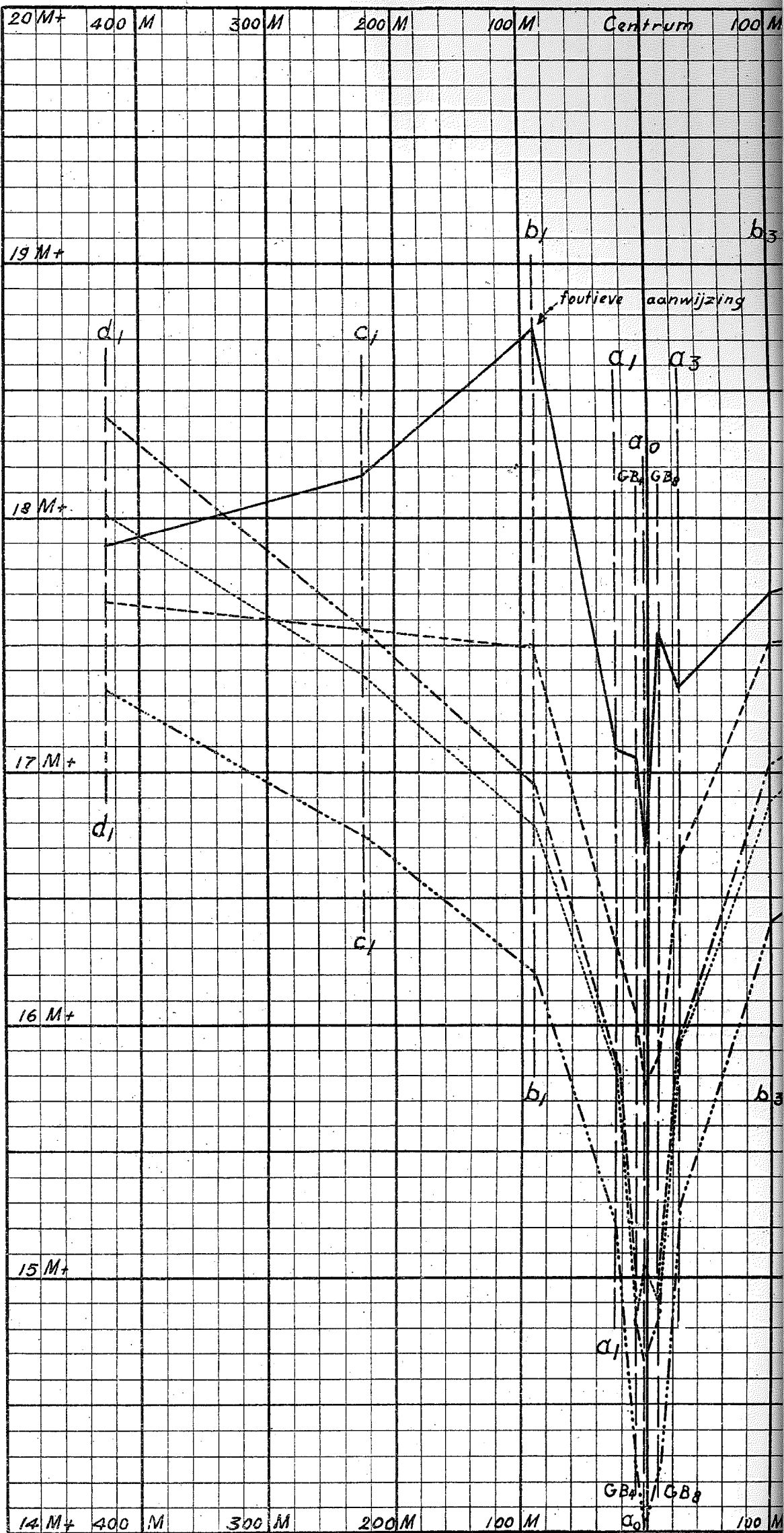
# WATERSTAND AAN DE PEILSCHALEN D<sup>1</sup> EN D<sup>3</sup> EN IN ENKELE W



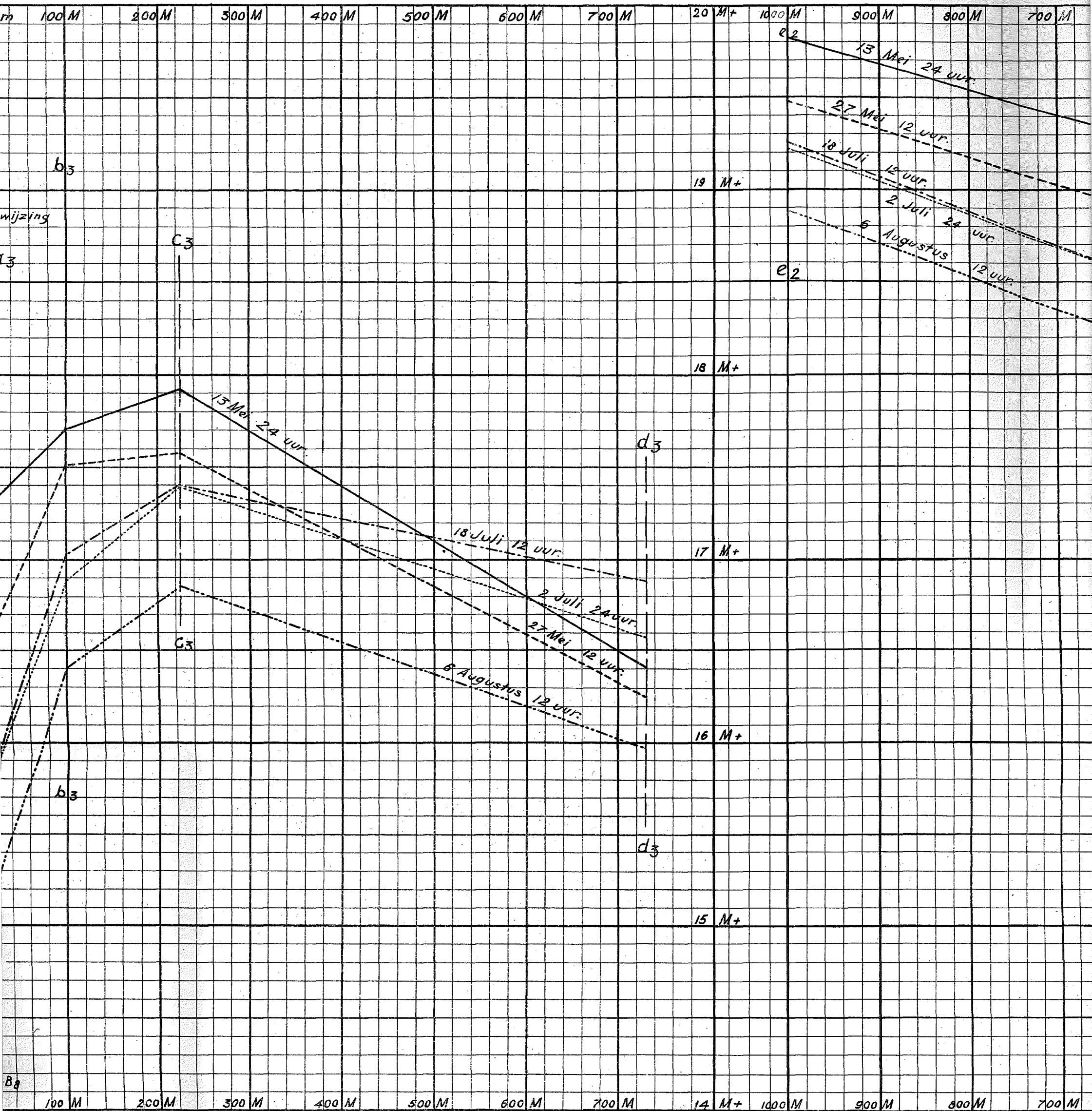


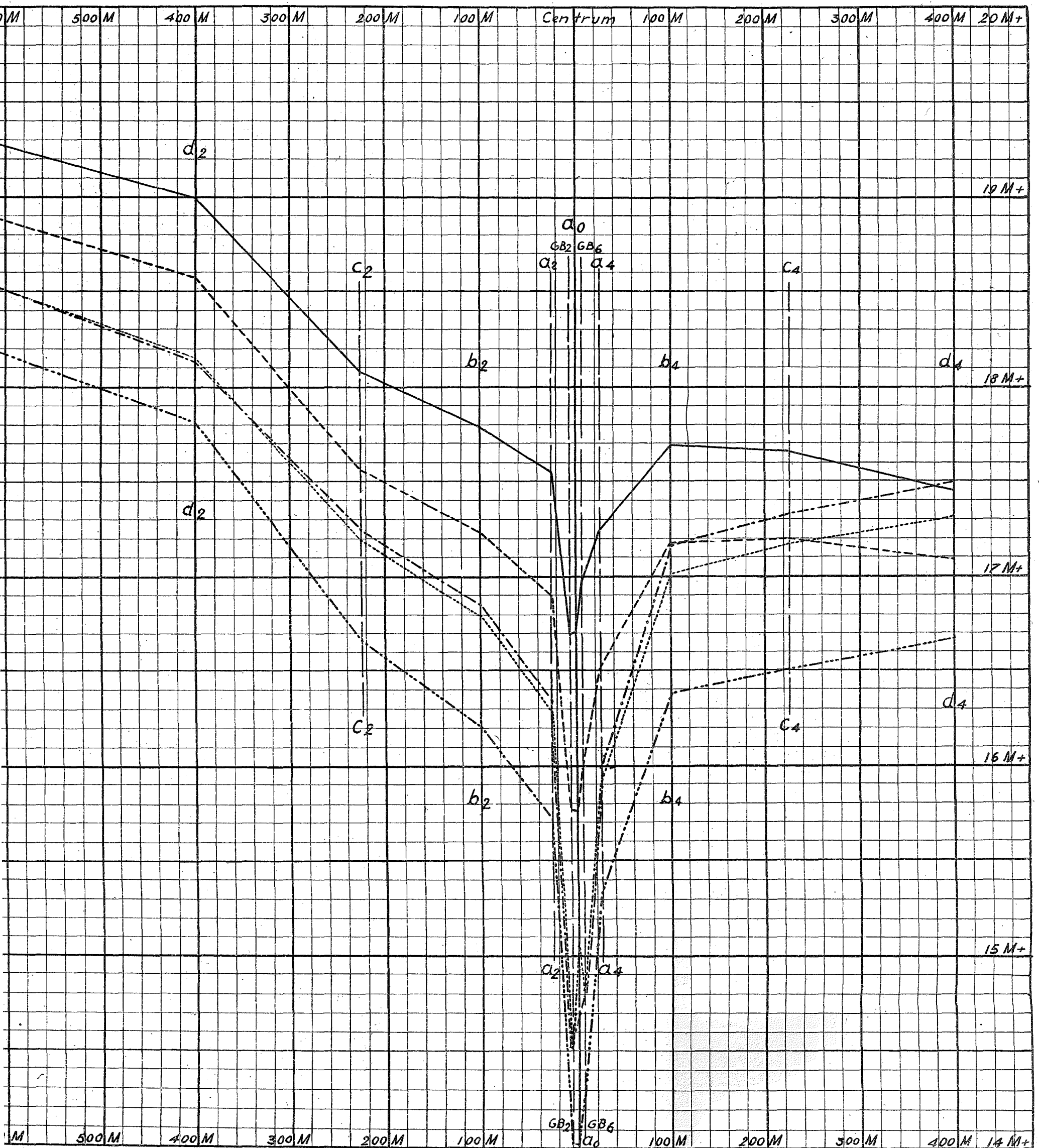
# EEN 5 TAL PERIODEN DER BEMALING





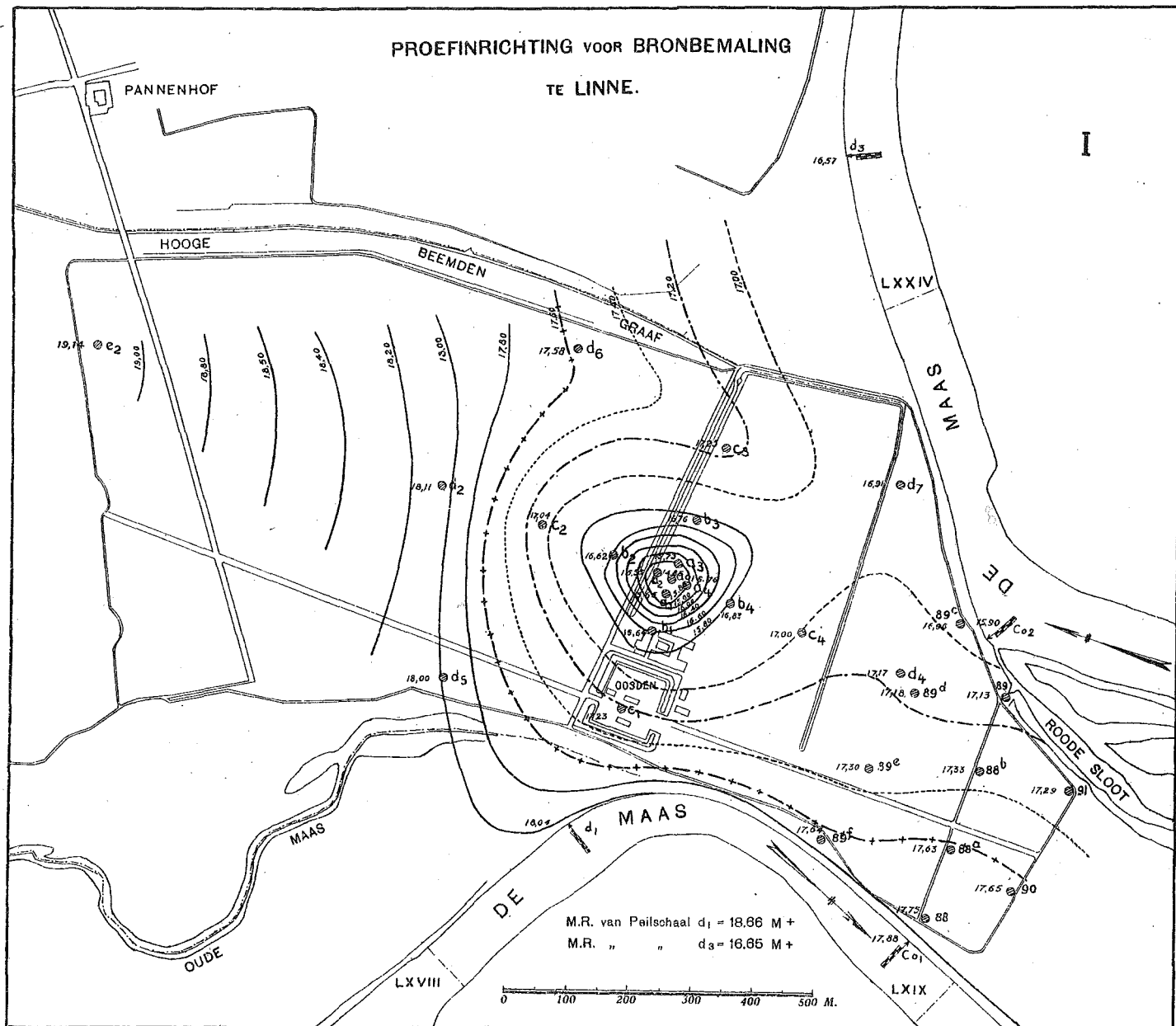
# STANDEN IN VERSCHILLENDE BUIZEN TELKENS OP É





PROEFINRICHTING VOOR BRONBEMALING

TE LINNE.

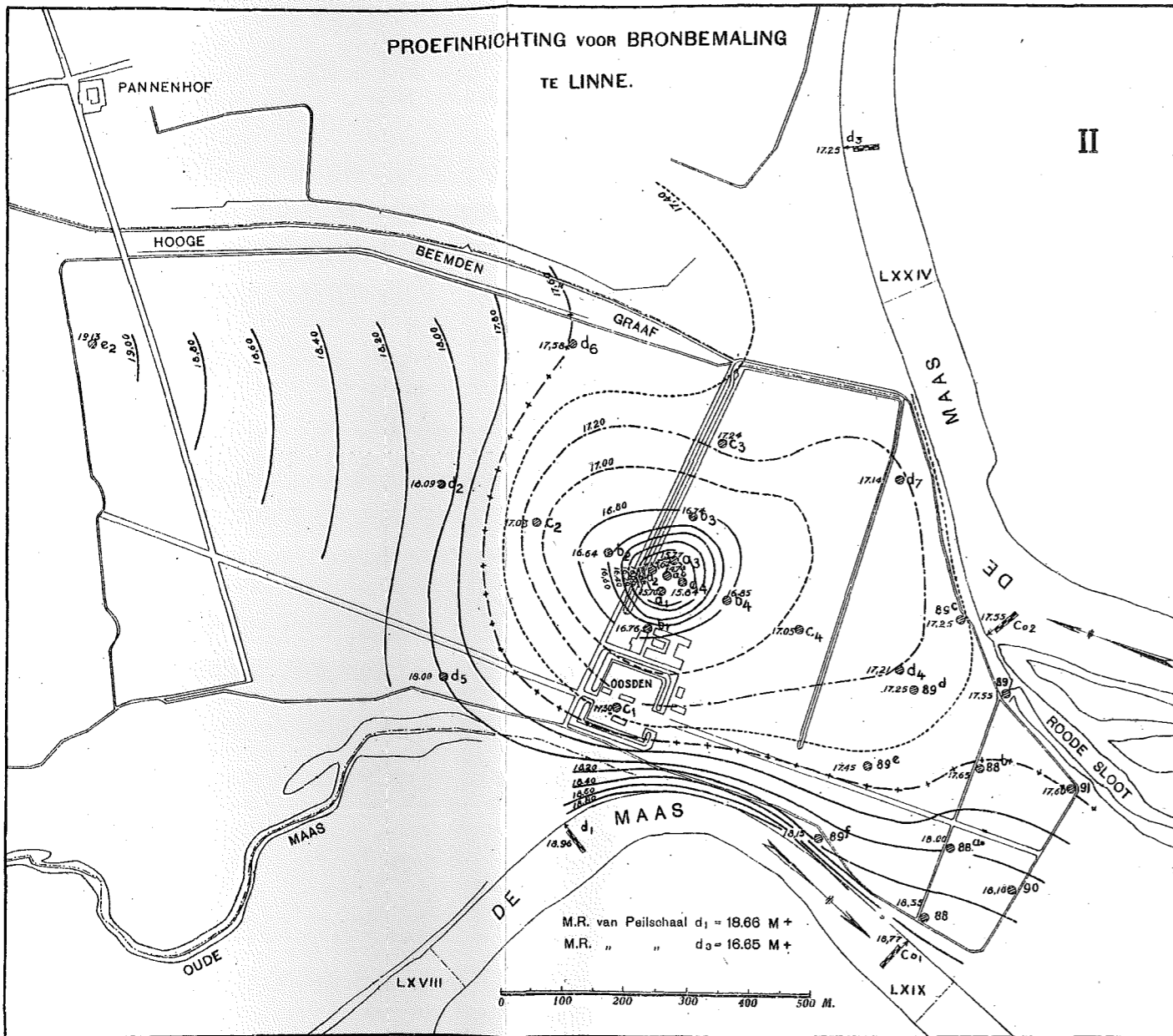


M.R. van Peilschaal d<sub>1</sub> = 18.86 M +  
 M.R. " " d<sub>3</sub> = 16.85 M +

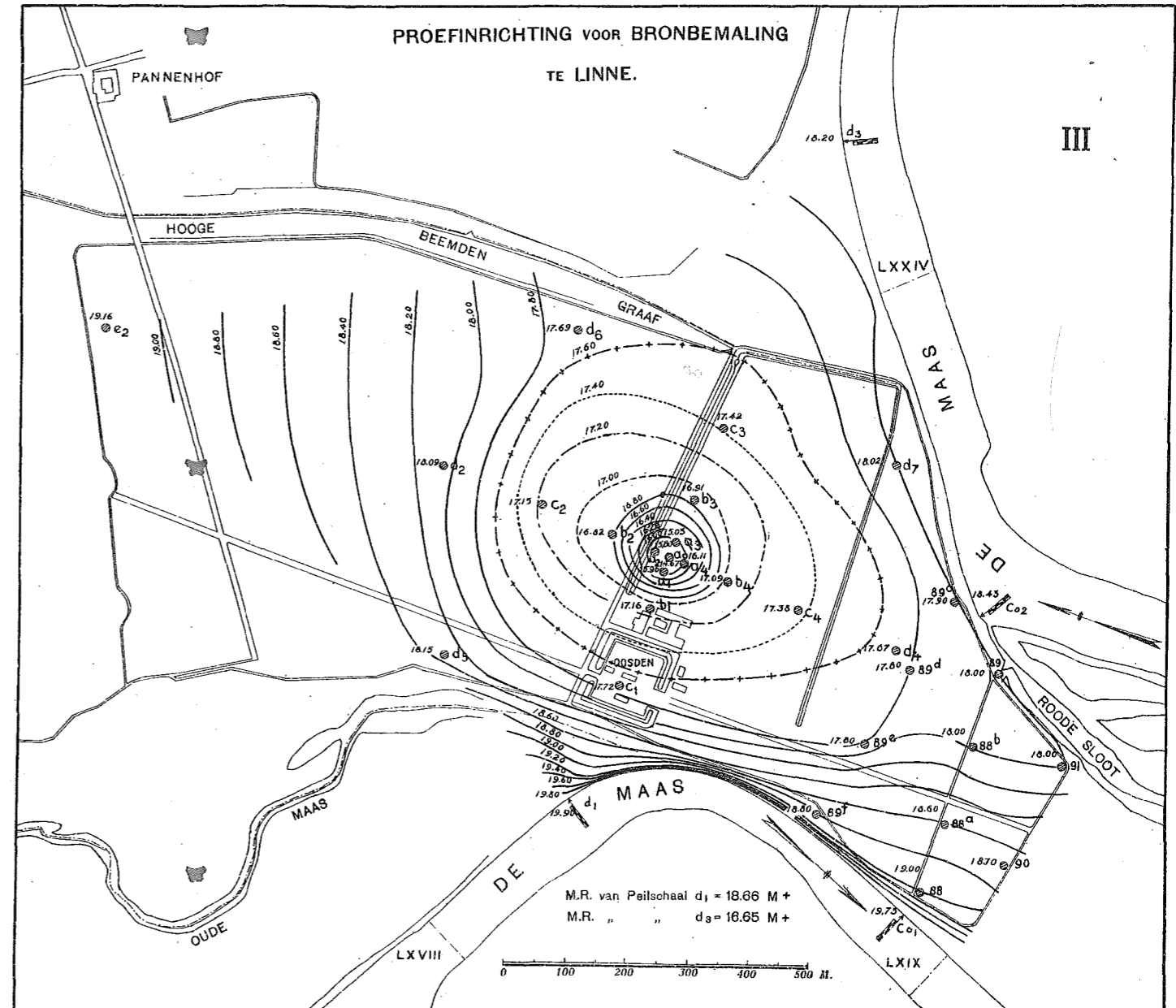
Stand van 8 Juli 1916, 15 uur. Evenwichtstoestand.



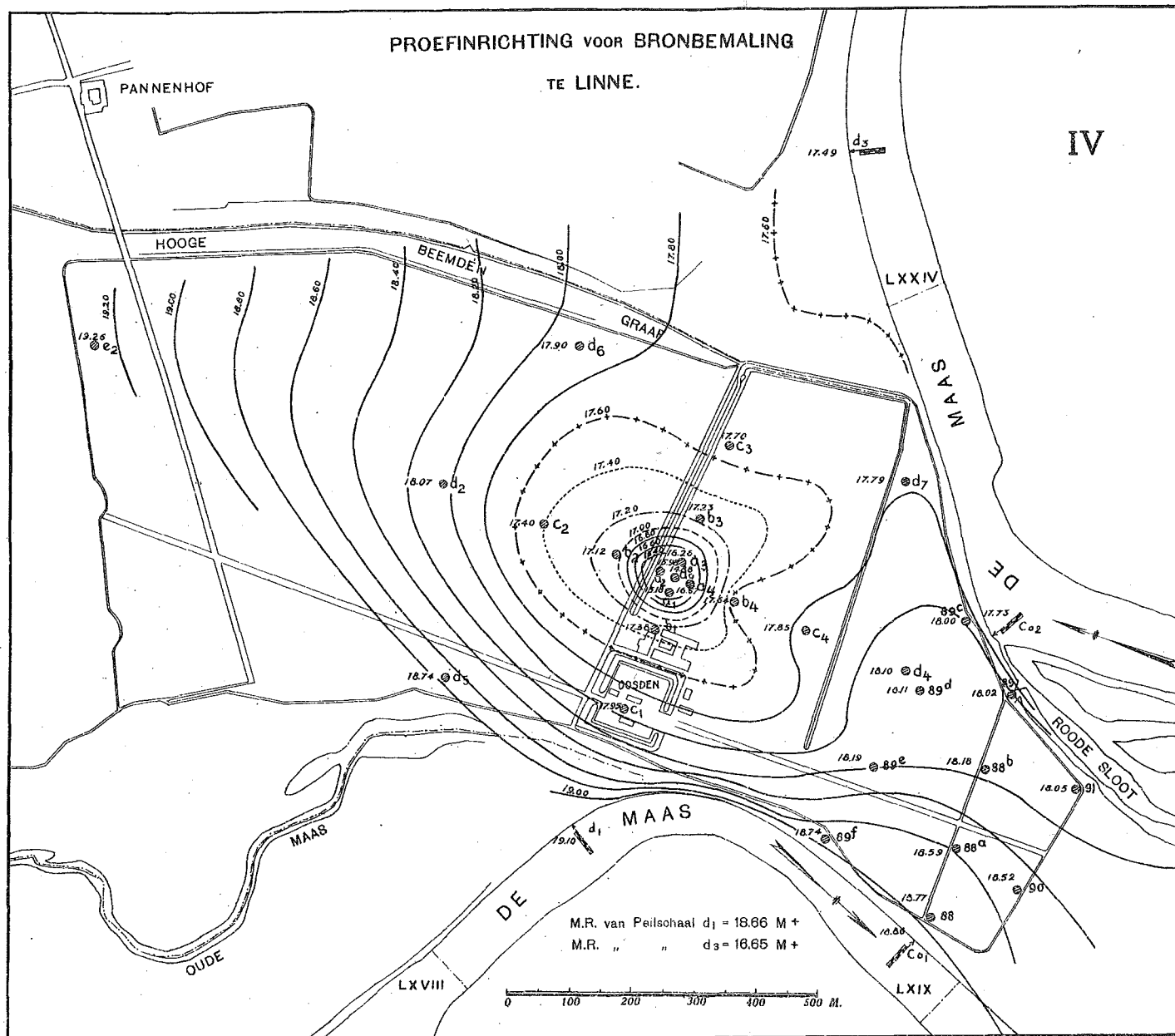
# HOOGTELIJNEN VAN DEN GRONDWATERSPIEGEL OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN, VOOR, GEDUR



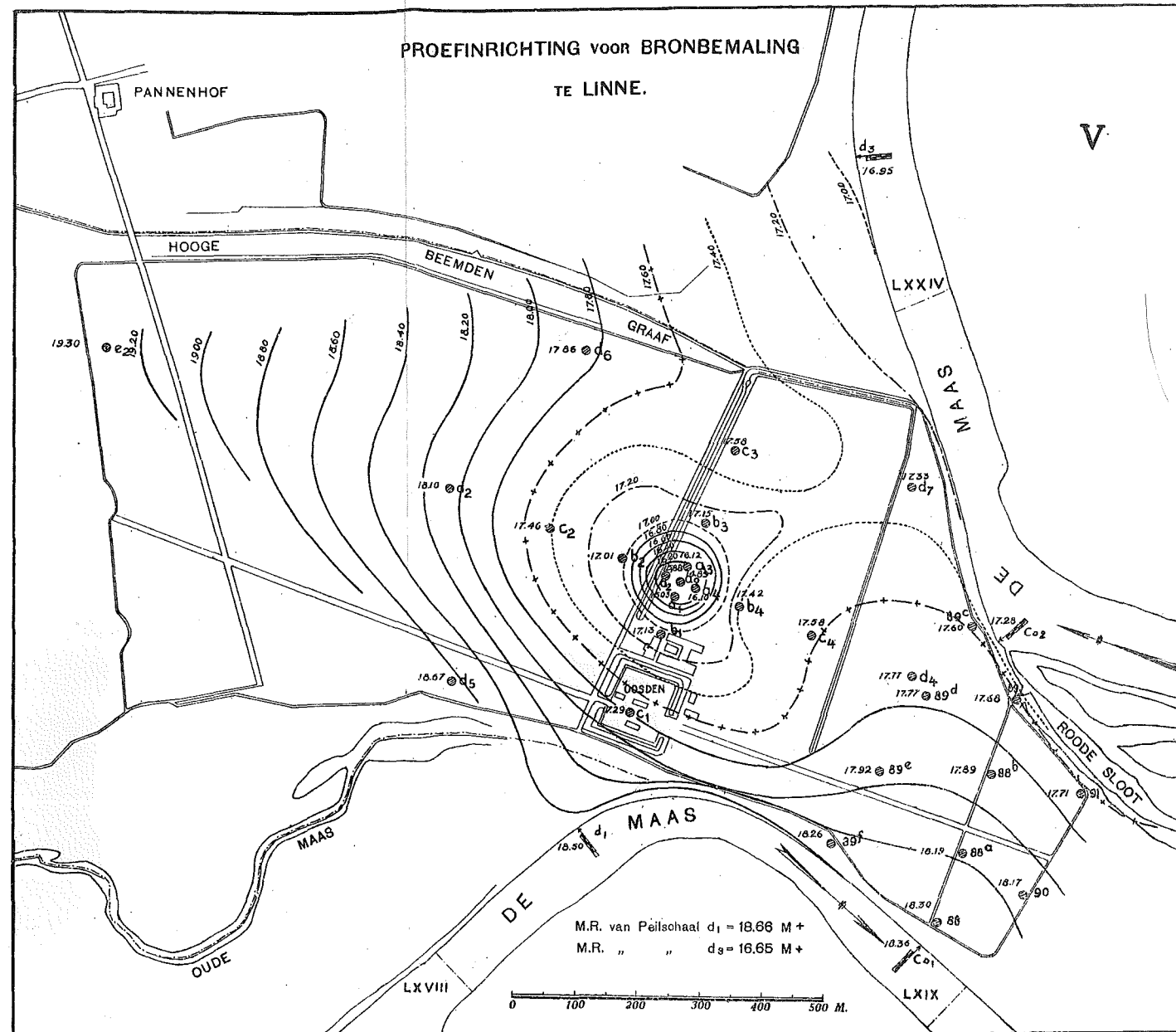
Stand van 9 Juli 1916, 9 uur. Was in de rivier van 1 M.; de evenwichtstoestand is verstoord.



Stand van 10 Juli 1916, 1 uur. De rivier is nog 0,8 M. gewassen.



Stand van 11 Juli 1916, 19 uur. De rivier is 0,8 M. gevallen.



Stand van 14 Juli 1916, 9 uur. De rivier is nog 0,6 M. gevallen. Een evenwichtstoestand is zich weder aan het vormen.