



waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stroomkrachten op Macoma, Taklift 4 en  
dorpelbalk

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

---

M 2131

september 1985

---

stormvloedkering Oosterschelde

stroomkrachten op Macoma, Taklift 4 en  
dorpelbalk

verslag modelonderzoek

---

M 2131

september 1985

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Opzet</u> .....	3
3. <u>Nauwkeurigheid van de metingen</u> .....	7
4. <u>Resultaten</u> .....	12
5. <u>Konklusies en aanbevelingen</u> .....	16

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

## TABELLEN

- 1 Algemene gegevens van de proeven
- 2 Schaalfactoren
- 3 Gemeten waterstanden
- 4 Gemeten stroomsnelheden
- 5 Gemeten krachten op de Macoma-Taklift 4 en dorpelbalk
- 6 Berekening van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$

## FIGUREN

- 1 Plattegrond Roompot
- 2 Plattegrond Schaar
- 3 Plattegrond Hammen
- 4 Combinatie Macoma-Taklift 4 en dorpelbalk
- 5 Meetopstelling krachtmeting
- 6 Meetopstelling waterbeweging Roompot
- 7 Meetopstelling waterbeweging Hammen
- 8 Meetopstelling waterbeweging Schaar
- 9 Meetopstelling waterbeweging Schaar
- 10 Waterbeweging T2
- 11 Waterbeweging T3
- 12 Waterbeweging T4
- 13 Waterbeweging T5
- 14 Waterbeweging T6
- 15 Waterbeweging T7
- 16 Waterbeweging T9
- 17 Waterbeweging T10
- 18 Waterbeweging T11
- 19 Waterbeweging T12
- 20 Waterbeweging T13
- 21 Waterbeweging T14.1
- 22 Waterbeweging T14.2
- 23 Waterbeweging T15.1
- 24 Waterbeweging T15.2
- 25 Waterbeweging T16
- 26 Waterbeweging T17.1
- 27 Waterbeweging T17.2
- 28 Waterbeweging T18.1
- 29 Waterbeweging T18.2
- 30 Waterbeweging T19.1
- 31 Waterbeweging T19.2
- 32 Waterbeweging T20
- 33 Voorbeeld registratie krachten
- 34 De krachten  $F_x$ ,  $F_y$  als functie van de afstand Mac-Tak tot de as van de stormvloedkering

FIGUREN (vervolg)

- 35 De krachten  $F_x$ ,  $F_y$  als functie van de afstand Mac-Tak tot de as van de stormvloedkering
- 36 Het moment  $M_z$  als functie van de afstand Mac-Tak tot de as van de stormvloedkering
- 37 Het moment  $M_z$  als functie van de afstand Mac-Tak tot de as van de stormvloedkering
- 38 De totale kracht als functie van het verval
- 39 De coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  als functie van  $\alpha$

## FOTO'S

- 1 Meetopstelling
- 2 Meetopstelling
- 3 Stroombeeld T2
- 4 Stroombeeld T9
- 5 Stroombeeld T16
- 6 Stroombeeld T20

## SYMBOLLEN

A	het aangestroomde oppervlak van de dwarsdoorsnede loodrecht op de stroomrichting	$m^2$
b	breedte	m
$C_D$	dragcoëfficiënt	-
$C_L$	liftcoëfficiënt	-
D	karacteristieke lengte	m
$F_D$	sleeppracht in de stroomrichting	N
$F_L$	liftkracht loodrecht op de stroomrichting	N
$F_h$	Froudegetal betrokken op $v_s$ en h	-
$F_t$	totale kracht	N
$F_v$	verhangkracht	N
g	versnelling zwaartekracht	$ms^{-2}$
h	waterdiepte	m
M	moment	kNm
r	korrelatiecoëfficiënt	-
Re	Reynoldsgetal	-
u	stroomsnelheid	$ms^{-1}$
$u_0$	ongestoorde stroomsnelheid	$ms^{-1}$
V	volume	$m^3$
$\alpha$	hoek tussen stroomrichting en lengte-as van het schip	$^\circ$
$\beta$	verhang van de waterspiegel	-
$\nu$	kinematische viscositeit	$ms^{-1}$
$\rho$	dichtheid water	$kgm^{-3}$
$\sigma$	standaardafwijking	-



STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE; STROOMKRACHTEN OP MACOMA, TAKLIFT 4 EN DORPELBALK

1. Inleiding

De dorpelbalken van de stormvloedkering in de Oosterschelde zullen door een combinatie van de werkschepen Taklift 4 en Macoma tussen de pijlers worden geplaatst. Deze combinatie van werkschepen met dorpelbalk wordt in het navolgende met Mac-Tak aangeduid. Tijdens het plaatsen van de dorpelbalken kan de Mac-Tak manoeuvreren door de verschillende ankerdraden in te halen of te vieren. Ter voorbereiding van deze werkzaamheden wordt met behulp van fysisch modelonderzoek het inzicht in het verloop van de krachten in de ankerdraden tijdens het plaatsen van de dorpelbalken vergroot.

In de situatie van schuine aanstroming van de Mac-Tak zijn de ankerdraadkrachten onder andere vanwege de complexe geometrie van het onderwaterschip van de Mac-Tak niet nauwkeurig te voorspellen. Daarom heeft de Deltadienst van Rijkswaterstaat besloten het Waterloopkundig Laboratorium opdracht te verlenen, zie brief d.d. 13 juni 1985 met kenmerk WT 506 de resulterende krachten op de Mac-Tak in een fysisch modelonderzoek te meten, waarbij een situatie met een dam aanzet en een dorpelfront wordt onderscheiden.

In het verleden zijn reeds verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de krachten, die tijdens het plaatsen van de dorpelbalken op de Mac-Tak worden uitgeoefend. Tijdens de proefperiode zijn in het prototype de krachten in de ankerdraden gemeten. Voorts is door het Waterloopkundig Laboratorium een uitvoerig modelonderzoek in de wind- en stroomgoot verricht naar de grootte van de krachten op de Mac-Tak onder invloed van stroom en golven [1]. Ter aanvulling van de resultaten van deze onderzoeken bestaat er behoefte aan een fysisch modelonderzoek waarin onder vergelijkbare omstandigheden de krachten op de Mac-Tak worden gemeten. Voor een dergelijk onderzoek heeft de Deltadienst van Rijkswaterstaat per brief d.d. 13 juni met kenmerk WT 507 het laboratorium opdracht verleend.

Het fysisch modelonderzoek is in het detailmodel M 1001 van de stroomgeulen in de Oosterschelde in twee gedeelten uitgevoerd:

- de situaties waarin de Mac-Tak schuin wordt aangestroomd in april 1985
- de situaties die een reproductie zijn van situaties in de proefperiode en van situaties van het onderzoek in de wind- en stroomgoot, in juni 1985.

Hierbij wordt opgemerkt dat in het onderhavige verslag de resultaten van het uitgevoerde modelonderzoek niet met de resultaten van de genoemde voorgaande onderzoeken zijn vergeleken. Een belangrijk verschil tussen het onderzoek in de wind- en stroomgoot en het onderzoek in het detailmodel is dat in het eerstgenoemde onderzoek een stroming gecombineerd met golven kon worden ingesteld, en dat in het detailmodel alleen een permanente stroming kan worden ingesteld.

De opzet van het modelonderzoek en van het proevenprogramma is in hoofdstuk 2 beschreven. De nauwkeurigheid van de gemeten krachten is in hoofdstuk 3 afgeschat. In het onderzoek zijn waterstanden, stroomsnelheden, stroomrichtingen en krachten gemeten. De resultaten van deze metingen zijn in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Tot slot zijn enkele konklusies en aanbevelingen van het modelonderzoek geformuleerd (hoofdstuk 5).

Het modelonderzoek is onder leiding van ir. M. van der Wal en ing. G. Hart-suiker uitgevoerd. Namens de opdrachtgever hebben ir. A.L.P. Estourgie, in dienst van Rijkswaterstaat, en ing. J. Soeteman en ir. H. Nederend, beide in dienst van Dusbouw, het onderzoek begeleid. Het verslag van het modelonderzoek is door ir. M. van der Wal samengesteld.

## 2. Opzet

Het modelonderzoek is in het detailmodel van de stroomgeulen Roompot, Hammen en Schaar uitgevoerd, zie figuren 1, 2 en 3. In deze modelfaciliteit zijn veel ontgrondingsproeven verricht. Tijdens het onderhavige onderzoek waren de ontgrondingsbakken toegedekt. Enkele kenmerken van deze faciliteit zijn:

- De lengteschaal,  $n_l$ , de hoogteschaal,  $n_h$  en de breedteschaal,  $n_b$  van deze modelfaciliteit zijn aan elkaar gelijk:  $n_l = n_h = n_b = 80$ . In het onvertrokken model is de schaalfactor van het Froudegetal

$$n_{F_h} = 1, \text{ waarin } F_h = v_s / \sqrt{gh}$$

$$F_h = \text{Froudegetal} \quad (-)$$

$$g = \text{versnelling zwaartekracht} \quad (\text{ms}^{-2})$$

$$h = \text{waterdiepte} \quad (\text{m})$$

$$v_s = \text{vaarsnelheid} \quad (\text{m/s})$$

Mede door deze schaalfactoren worden de krachten op een geometrisch gelijkvormig model van de Mac-Tak op schaal weergegeven.

- In de detailmodellen kan alleen een permanente vloedstroom of ebstroom worden ingesteld. In het model kunnen dus geen windgolven en getijgolven worden gereproduceerd.

Voor een uitvoerige beschrijving van deze modelfaciliteit wordt verwezen naar de verslagen van voorgaande onderzoeken [2].

Van het onderwaterschip van de combinatie Macoma, Taklift 4 en dorpelbalk is aan de hand van tekeningen, die door de opdrachtgever zijn verstrekt, een model op schaal 1:80 vervaardigd. Van de gecompliceerde vorm van dat onderwaterschip zijn onbelangrijke details weggelaten. Hierbij is speciale aandacht aan de schematisatie van de zuigladder van de Macoma besteed. De koppeling tussen de Macoma en de Taklift 4 is zo uitgevoerd dat beide onafhankelijk van elkaar alleen verticale bewegingen kunnen ondergaan. De dorpelbalk, die zich voor een belangrijk deel in het water bevindt, zie figuur 4, is in de eerste proeven sterk geschematiseerd door de nokken aan de uiteinden van de dorpelbalk weg te laten. In latere proeven is deze schematisatie verfijnd door deze nokken op het model aan te brengen.

Het proevenprogramma bestaat uit de toestanden T1...T20 en is in vier series proeven met de volgende kenmerken ingedeeld:

- T1...T7 extreem schuine aanstroming van de Mac-Tak bij een verhoudings-  
gewijs grote waterdiepte in de Roompot,  
T8...T13 extreem schuine aanstroming van de Mac-Tak bij een verhoudings-  
gewijs geringe waterdiepte in de Hammen,  
T14...T16 een zo goed mogelijke reproductie van de toestanden P290 en P300  
uit het onderzoek in de wind- en stroomgoot, zie [1],  
T17...T20 een zo goed mogelijke reproductie van de situatie waarin tijdens de  
proefperiode de dorpelbalk S10 is geplaatst.

De belangrijkste kenmerken van de verschillende toestanden zijn in tabel 1 op-  
genomen. In de verschillende series proeven is vooral de afstand van de Mac-  
Tak tot de stormvloedkering gevarieerd. Deze afstand is gedefinieerd als de  
afstand tussen het hart van de dorpelbalk en de as van de stormvloedkering. De  
debietverdeling langs de instelraai is op de in het overzichtsmodeel gemeten  
debietverdeling gebaseerd:

T1...T7 bouwfase T: 30% dorpelbalken geplaatst (T333)

T8...T13 bouwfase S: drempel gereed (T332)

T14...T20 bouwfase S: drempel gereed (T332)

Bij de proeven in de Schaar, T14...T20, is het ebdebiet gevarieerd en is de  
bovenstroomse debietverdeling konstant gehouden.

In elke serie is een toestand opgenomen waarin de waterbeweging is gemeten in  
een situatie waarbij het model van de Mac-Tak afwezig is (T1, T8, T16 en T20).

In deze situatie is de ongestoorde stroomsnelheid  $u_0$  geregistreerd. Deze  
stroomsnelheid is van belang voor het berekenen van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$   
in de volgende formules:

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho u_0^2 A \quad (1)$$

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho u_0^2 A \quad (2)$$

waarin

$C_D$  = dragcoëfficiënt (-)

$C_L$  = liftcoëfficiënt (-)

$A$  = het aangestroomde oppervlak van de dwarsdoorsnede  
loodrecht op de stroomrichting ( $m^2$ )

$F_D$  = sleepkracht in de stroomrichting (N)

$F_L$  = liftkracht loodrecht op de stroomrichting (N)

$\rho$  = dichtheid water ( $kgm^{-3}$ )

$u_0$  = ongestoorde stroomsnelheid ( $ms^{-1}$ )

Het modelonderzoek is er mede op gericht de waarde van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  in de verschillende toestanden te bepalen.

Voor het meten van de krachten die door de stroming op de Mac-Tak worden uitgeoefend, is van een statisch bepaald meetsysteem uitgegaan, zie figuur 5. Dit meetsysteem is geschikt om tijdsonafhankelijke krachten te registreren.

Uit de krachten  $F_1$ ,  $F_2$  en  $F_3$ , zie figuur 5, kunnen  $F_x$ ,  $F_y$  en  $M_z$  worden bepaald, waarbij  $F_x = F_2$  de kracht evenwijdig aan de langsas van de Mac-Tak,  $F_y$  de kracht loodrecht op deze langsas en  $M_z$  het moment:

$$F_t = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{F_D^2 + F_L^2} \quad (3)$$

waarin

$$F_t = \text{totale kracht op de Mac-Tak} \quad (N)$$

Opgemerkt wordt dat bij schuine aanstroming van de Mac-Tak de richting van  $F_D$  niet samenvalt met de richting van  $F_x$  en evenzo de richting van  $F_L$  niet samenvalt met de richting van  $F_y$ .

In het krachtmeetsysteem is door het aanbrengen van een voorspanning voorkomen dat het schip tijdens een proef verplaatst. Tijdens de proeven T1...T13 zijn de inspandraden en de krachtopnemers op gemakkelijk verplaatsbare bokjes bevestigd om binnen de beperkte ruimte van ongeveer 0,1 m tussen de pijlers en de draagconstructie van de meetbruggen een flexibele meetopstelling te verkrijgen. In de voorbereidingstijd van de proeven T14...T20 is getracht het na-deel dat door deze meetopstelling de krachten met een beperkte nauwkeurigheid worden geregistreerd, te ondervangen door een meetframe te ontwerpen. Op het meetframe zijn de inspandraden en de krachtopnemers met een grote nauwkeurigheid bevestigd, waardoor de krachten op de Mac-Tak met een grotere nauwkeurigheid zijn geregistreerd dan met de flexibele meetopstelling, zie foto's 1 en 2.

In elke toestand zijn behalve krachtmetingen ook metingen naar de waterbeweging verricht. De waterstanden zijn op de standaardmeetplaatsen van de peilnaalden afgelezen en op andere plaatsen met waterstandvolgers gemeten. De stroomsnelheden en de stroomrichtingen zijn met stroomsnelheidsmeters geregistreerd. De opstelling van de meetinstrumenten in de verschillende toestanden is in de figuren 6...9 weergegeven. De stroomsnelheid is steeds op 4 m beneden de waterspiegel geregistreerd, omdat de stroomsnelheid, die op die hoogte is

gemeten, representatief is voor de stroomsnelheid waarmee de Mac-Tak wordt aangestroomd. De diepgang van de Mac-Tak varieert namelijk van 1,40 m tot 4,80 m. Tenslotte zijn er stroombeeldfoto's van vrijwel het gehele detailmodel gemaakt in de toestand T2, T9, T16 en T20, zie foto's 3...6. In de overige toestanden hebben de detailstroombeeldfoto's betrekking op de stroming rond de Mac-Tak.

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat de schaalfactoren, waarmee de in het model gemeten grootheden moeten worden vermenigvuldigd om de prototypewaarde te verkrijgen, in tabel 2 staan vermeld.

### 3. Nauwkeurigheid van de metingen

Ten behoeve van de interpretatie van de resultaten van het onderzoek wordt in dit hoofdstuk nader op de nauwkeurigheid van de metingen ingegaan. De belangrijkste bronnen van onnauwkeurigheid worden beknopt behandeld. Een diepgaande behandeling van de verschillende nauwkeurigheden valt echter buiten het kader van het onderhavige onderzoek.

De resulterende nauwkeurigheid, waarmee de krachten in het modelonderzoek zijn gemeten, is afhankelijk van de volgende aspecten:

- krachtopnemer,
- meetopstelling,
- diepgang van het schip,
- schrijver van de meetsignalen,
- schaaleffect ten gevolge van de viscositeit van water en overige invloeden.

Deze aspecten worden in het onderstaande toegelicht en tenslotte wordt een opmerking over de resulterende nauwkeurigheid gemaakt.

#### Krachtopnemer

De nauwkeurigheid van de krachtopnemer bedraagt ongeveer 2% van het gekozen meetbereik van de krachtopnemer. Dit geldt voor een stationaire of een langzaam in de tijd veranderende kracht, zoals in het modelonderzoek is opgetreden. In de meeste proeven is deze nauwkeurigheid ongeveer 20 kN.

#### Meetopstelling

Bij de meetopstelling dient onderscheid gemaakt te worden tussen een flexibele meetopstelling met bokjes (T1...T13) en een gefixeerde meetopstelling met een meetframe (T14...T20).

#### ● flexibele meetopstelling

Hierbij leidt de positionering van de bokjes en het schip met behulp van inspandraden tot een maximale hoekverdraaiing in het horizontale vlak van ongeveer  $1^\circ$  van de inspandraden. Het gevolg is dat de langskracht ongeveer  $0,02 F_y$  en de dwarskracht ongeveer  $0,02 F_x$  te klein gemeten kunnen zijn.

Door elastische verlenging van de inspandraden registreren de krachtopnemers een kracht die lager is dan de op het schip uitgeoefende kracht. De in tabel 5 vermelde krachten zijn voor deze invloed gecorrigeerd. Deze invloed

is ook enigszins afhankelijk van de temperatuur. De nauwkeurigheid van de op deze wijze bepaalde kracht wordt op 5% geschat.

• gefixeerde meetopstelling

Met behulp van een meetframe wordt deze maximale hoekverdraaiing in het horizontale vlak beperkt tot ongeveer 0,1°. Dat betekent dat de langskracht  $F_x$  ongeveer 0,002  $F_y$  en de dwarskracht  $F_y$  ongeveer 0,002  $F_x$  te klein gemeten kunnen zijn.

In het meetframe hebben de inspandraden een kortere lengte dan in de flexibele meetopstelling. Daardoor heeft de elastische verlenging van de inspandraden een geringere invloed op de gemeten krachten. De nauwkeurigheid van de op deze wijze bepaalde kracht wordt op 2 à 3% geschat.

Gebleken is dat beide meetopstellingen voldoende trillingsvrij zijn. De hoekverdraaiing van de inspandraden in het verticale vlak is afhankelijk van de in te stellen stroming rond het schip en heeft een ondergeschikte invloed op de te meten krachten. Door een mogelijke rotatie om de verticale as van het schip over 0,5° verandert het aanstroomoppervlak minder dan 0,5%, waardoor de gemeten krachten nauwelijks zullen worden beïnvloed.

Diepgang van het schip

Door het schip te ballasten wordt de diepgang met een nauwkeurigheid van 0,08 m (prototype) ingesteld. Bij opgegeven diepgangen die van 1,40 m tot 4,90 m variëren, betekent dat dat het aanstroomoppervlak A een nauwkeurigheid heeft van 2 à 2,5%. Door de schematisatie van het gecompliceerde onderwaterschip vermindert de nauwkeurigheid van het aanstroomoppervlak naar schatting met 1%.

De resulterende nauwkeurigheid van het aanstroomoppervlak ten gevolge van rotatie, ballasten en schematisatie kan als volgt worden berekend. Aangenomen wordt dat de nauwkeurigheden aan een normale verdeling voldoen en dat de maximale onnauwkeurigheid  $\approx 3 \sigma$ , waarin  $\sigma$  = standaardafwijking.

De standaardafwijking van de resulterende onnauwkeurigheid kan worden berekend met:

$$\sigma_{\text{totaal}}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 \pm 2 r_{12} \sigma_1 \sigma_2 \pm r_{13} \sigma_1 \sigma_3 \pm r_{23} \sigma_2 \sigma_3 \quad (4)$$

waarin

$\sigma$  = standaardafwijking van verdeling (-)

$r$  = kruiskorrelatiecoëfficiënt (-)



Index 1, 2 en 3 staan voor de verdeling ten gevolge van rotatie, ballasten respectievelijk schematisatie.

Uit (4) volgt dat de resulterende onnauwkeurigheid van het aanstroomoppervlak 2,8% bedraagt, indien verondersteld wordt dat de korrelatie tussen de drie verschillende bronnen nul is, dus dat deze bronnen onafhankelijk van elkaar zijn.

#### Schrijver van de meetsignalen

De meetsignalen van de krachtopnemers worden op een meerkanaalschrijver uitgevoerd. Hierbij spelen de nauwkeurigheid van de nulstelling en de afleesnauwkeurigheid een rol. De nauwkeurigheid van beide kan op een 0,5% van het meetbereik worden gesteld. Dit resulteert in de meeste proeven in een nauwkeurigheid van 5 à 12,8 kN voor elk afzonderlijk.

#### Invloed viskositeit van water

In het detailmodel van de stormvloedkering is het prototype volgens de schaalwet van Froude gereproduceerd. Een gevolg is dat de waarde van het Reynoldsgetal in het model kleiner is dan in het prototype, en hierdoor kan een schaaleardeffect optreden.

$$Re = u \cdot D / \nu \quad (5)$$

waarin

D	=	karakteristieke lengte	(m)
u	=	stroomsnelheid	(m/s)
$\nu$	=	kinematische viskositeit	(m <sup>2</sup> /s)
Re	=	Reynoldsgetal	(-)

In het model en in het prototype ligt de waarde van het Re in het volgende gebied:

prototype	$5 \cdot 10^7 < Re < 10^9$
model	$5 \cdot 10^4 < Re < 10^6$

Voor deze waarden van het Re-getal zijn de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  van een lichaam met een gecompliceerde vorm en gefixeerde loslaatpunten van de stroom vrijwel onafhankelijk van de waarde van het Re-getal.

### Overige invloeden

De nauwkeurigheid van een krachtmeting wordt ook beïnvloed door de nauwkeurigheid van de ingestelde stroming (stroomsnelheid, stroomrichting en het verhang), de temperatuur van het water en de meetinstrumenten, en de schematisatie van de pijlers van de stormvloedkering. Deze invloeden zijn ondergeschikt aan de eerder genoemde invloeden op de nauwkeurigheid van een krachtmeting.

### Resulterende onnauwkeurigheid

In een bepaald geval kan de resulterende onnauwkeurigheid met (4) worden bepaald. Aangenomen wordt dat

- de absolute onnauwkeurigheid  $\approx 3 \sigma$
- de verschillende invloeden op de onnauwkeurigheid statistisch onafhankelijk van elkaar zijn.

Als voorbeeld wordt uitgegaan van een totale kracht van 2200 kN en een flexibele meetopstelling:

$$\sigma^2_{\text{totaal}} = \left(\frac{20}{3}\right)^2 + \left(\frac{60,3}{3}\right)^2 + \left(\frac{12,8}{3}\right)^2 + \left(\frac{12,8}{3}\right)^2 + \left(\frac{110}{3}\right)^2 + \left(\frac{110}{3}\right)^2 + \left(\frac{110}{3}\right)^2 + \left(\frac{20}{3}\right)^2 = 67,5^2$$

In deze optelling zijn achtereenvolgens de invloed van de krachtopnemer, de diepgang, de schrijver en de meetopstelling vermeld.

De absolute onnauwkeurigheid  $3 \sigma_{\text{tot}}$  bedraagt 9,0% van de totale kracht. Omdat in de praktijk de verschillende invloeden wel enigszins afhankelijk van elkaar zullen zijn en verschillende invloeden in het bovenstaande verwaarloosd zijn, wordt aanbevolen met een nauwkeurigheid van 10% rekening te houden, ook als de totale kracht kleiner is dan 2200 kN.

Bij de meetopstelling met het meetframe, wordt de resulterende nauwkeurigheid op 6 à 8% van de totale kracht geschat.

De nauwkeurigheid waarmee het moment  $M_z$  is berekend, is in veel gevallen aanzienlijk kleiner:

$$M_z = (F_1 - F_3) \Delta x$$

De relatieve fout in  $M_z$  bedraagt:

$$\delta M_z = \frac{\delta F_1 |F_1| + \delta F_3 |F_3|}{F_1 - F_3}$$

waarin

$\delta F_1$ ,  $\delta F_3$ ,  $\delta M_z$  = de relatieve fout in respectievelijk  $F_1$ ,  $F_3$  en  $M_z$

Indien  $F_1$  en  $F_3$  in grootte ongeveer gelijk zijn dan is de relatieve fout in  $M_z$  groot ten opzichte van de relatieve fout in  $F_1$  en  $F_3$ , zie ook hoofdstuk 4.

Tot slot wordt opgemerkt dat een volledige behandeling van de nauwkeurigheid van de krachtmetingen een veel gedetailleerdere behandeling van de verschillende invloeden vereist dan in het voorgaande is uiteengezet.

#### 4. Resultaten

Van de in het modelonderzoek verrichte metingen worden achtereenvolgens de waterstanden, de stroomsnelheden, de stroomrichtingen, de krachten en momenten in het onderstaande beknopt behandeld. Op basis van deze meetresultaten zijn de waarden van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  berekend. Op de berekende waarden van deze coëfficiënten wordt een korte toelichting gegeven.

##### Waterstanden

De gemeten waterstanden zijn in tabel 3 gepresenteerd. De nauwkeurigheid van deze waterstanden bedraagt 0,02 à 0,05 m.

De standaardmeetpunten van de waterstand in de werkhavens, maken een vergelijking met de waterstanden in andere onderzoeken, die in het detailmodel zijn uitgevoerd, mogelijk. In tabel 3 is de waterstand benedenstrooms van de stormvloedkering en het verval over de stormvloedkering tussen de standaardmeetpunten opgenomen.

Voor de positie van de overige meetpunten van de waterstand wordt verwezen naar de figuren 6...9. In overleg met de opdrachtgever is besloten wegens de beperkt beschikbare tijd in T14.3 en T15.3 een aantal metingen van de waterstand en de stroomsnelheid te laten vervallen.

##### Stroomsnelheden en stroomrichtingen

De gemeten stroomsnelheden zijn in tabel 4 verzameld. Deze stroomsnelheden zijn met een nauwkeurigheid van ongeveer 0,02 m/s gemeten. Opgemerkt wordt dat ook de stroomsnelheden in de as van de stormvloedkering op ongeveer 4 m beneden de waterspiegel zijn gemeten. Deze meetpositie wijkt af van een veel gebruikte meetpositie op een 1/3 h beneden de waterspiegel.

De gemeten stroomsnelheden en stroomrichtingen zijn in de figuren 10...32 gepresenteerd. In de verschillende meetseries varieert de hoek tussen de stroomrichting en de lengte-as van de Mac-Tak als volgt:

toestand	stroomgeul	hoek
T1...T7	Roompot	10 - 25°
T8...T13	Hammen	30 - 45°
T14...T16	Schaar	-5 - +5°
T17...T20	Schaar	15 - 25°

Uit dit overzicht blijkt dat deze hoek over een groot gebied is gevarieerd. De gemeten stroomrichtingen komen goed overeen met de stroomrichtingen op de stroombeeldfoto's. Uit de detailstroombeeldfoto's blijken benedenstrooms van de Mac-Tak kleine neren met tijdsafhankelijk gedrag te ontstaan. Als voorbeeld zijn de stroombeeldfoto's van T2, T9, T16 en T20 opgenomen, zie de foto's 3...6.

### Krachten

Uit de gemeten krachten  $F_1$ ,  $F_2$  en  $F_3$  zijn  $F_x$ ,  $F_y$  en  $M_z$  berekend, zie figuur 5:

$$F_x = F_2$$

$$F_y = F_1 + F_3$$

$$M_z = |F_1 - F_3| \Delta x$$

De berekende waarden van  $F_x$ ,  $F_y$  en  $M_z$  zijn in tabel 5 verzameld. Een voorbeeld van een meetregistratie van  $F_1$ ,  $F_2$  en  $F_3$  is in figuur 33 opgenomen. Uit dit representatieve voorbeeld blijkt dat de gemeten krachten in de tijd vrijwel konstant zijn.

In het onderstaande wordt door het vergelijken van de in verschillende toestanden gemeten krachten een indruk verkregen van de invloed van enkele variabelen op deze krachten.

De invloed van de schematisatie van de dorpelbalk door de nokken aan de uiteinden weg te laten van T1...T6 blijkt uit een vergelijking van de gemeten krachten in T6 en T6.1 (tabel 5) dat door deze schematisatie  $F_x$  ongeveer 5% en  $F_y$  0 tot 17% te klein zijn gemeten. Voorts blijkt  $M_z$  gevoelig te zijn voor de waarde van  $F_y$  en daardoor kan een grote spreiding in de waarde van  $M_z$  optreden. Op basis van deze vergelijking is aangenomen dat in T2...T6  $F_x$  0 tot 5% en  $F_y$  0 tot 17% te klein zijn gemeten.

De reproduceerbaarheid van de gemeten krachten wordt geïllustreerd met een vergelijking van de gemeten krachten in T6.1 en T6.2. Voor de langskracht is in beide toestanden dezelfde waarde gemeten, maar in de waarden van  $F_y$  en  $M_z$  treden grote verschillen op. Het verschil in  $M_z$  wordt gedeeltelijk verklaard doordat  $M_z$  uit het verschil van twee grote getallen is berekend, waarbij de nauwkeurigheid van deze grote getallen maatgevend is voor de nauwkeurigheid van  $M_z$ , zie het voorgaande hoofdstuk. Voorts wordt opgemerkt dat in T6.2 de voorste aflooppunten van de inspandraden ongeveer 11 m moesten worden verplaatst. Deze noodzakelijke wijziging in de meetopstelling behoort echter geen invloed op de waarden van  $F_y$  te hebben.

De invloed van de nauwkeurigheid van de meetopstelling op de gemeten krachten blijkt uit een vergelijking van de gemeten krachten in T7 en T7.2. In T7 maken de inspandraden voor de dwarskrachten  $F_1$  en  $F_3$  een hoek van  $3^\circ - 5^\circ$  met de theoretische richting. De verankeringspunten van deze inspandraden zijn na de voorgaande proef per vergissing niet verplaatst. Vervolgens is de proef nog een keer herhaald (T7.2) met de juiste meetopstelling. De ontbondene in x-richting van de in T7 gemeten kracht in deze inspandraden bedraagt 15 à 23 kN. De totale kracht  $F_x$  wordt in dit geval als volgt berekend:

$$2430 + 4 (15 \text{ à } 23) = 2490 \text{ à } 2520 \text{ kN}$$

Deze waarde stemt overeen met de in T7.2 gemeten waarde van  $F_x$ .

De invloed van de diepgang van het schip op de gemeten krachten komt tot uiting in een vergelijking van de gemeten krachten in T7.1 en T7.2 (zie voor de diepgangen tabel 1). Volgens (1, 2) is de totale kracht evenredig met het aanstroomoppervlak A, dat mede door de diepgang wordt bepaald. In T7.1 zijn ten opzichte van T7.2 A met 3 à 5% en de totale gemeten kracht met 3% verminderd. Indien rekening wordt gehouden met de nauwkeurigheid van de gemeten krachten, dan zijn deze verminderingen in overeenstemming met (1 en 2).

Het verloop van de krachten  $F_x$  en  $F_y$  en het moment  $M_z$  als functie van de afstand tussen de Mac-Tak en de as van de stormvloedkering is in de figuren 34...37 geschetst. Dit verloop van deze grootheden in de proeven in de Hammen komt kwalitatief overeen met het verloop van deze grootheden in de proeven in de Roompot. De proeven in de Schaar blijven hier buiten beschouwing omdat in die proeven deze afstand slechts weinig is gevarieerd.

Uit deze figuren blijkt dat  $F_x$  toeneemt naarmate de afstand tussen Mac-Tak en de as van de stormvloedkering kleiner wordt. De dwarskracht  $F_y$  neemt eveneens toe naarmate deze afstand vermindert, totdat de dorpelbalk in de schaduw van de pijlers komt, dan neemt de waarde van  $F_y$  sterk af. Als functie van deze afstand vertoont  $M_z$  een gecompliceerd verloop. Bij de beoordeling van dit verloop dient met de beperkte nauwkeurigheid van  $M_z$  rekening te worden gehouden.

De totale kracht  $F_t$  is in figuur 38 als functie van het verval over de stormvloedkering gepresenteerd. Bij de beoordeling van deze figuur dient rekening te worden gehouden met de variaties in de afstand tussen de Mac-Tak en de as van de stormvloedkering in de verschillende toestanden.

Uit de meetresultaten zijn de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  als volgt berekend. De totale kracht  $F_t$  is ontbonden in  $F'_D$  en  $F'_L$ . Hierin is  $F'_D$  de som van de verhangkracht  $F_v$  en de stroomkracht  $F_D$ . De verhangkracht  $F_v$  is berekend met

$$F_v = \rho g V \sin \beta \quad (6)$$

waarin

$$F_v = \text{verhangkracht} \quad (\text{N})$$

$$V = \text{volume van het ondergedompelde deel van de Mac-Tak} \quad (\text{m}^3)$$

$$\beta = \text{helling van de waterspiegel tussen dorpelbalk en} \\ \text{hek van de Macoma} \quad (^\circ)$$

De verhangkracht is in alle gevallen aanzienlijk kleiner dan de stroomkracht  $F_D$ . De nauwkeurigheid waarmee  $F_v$  is berekend, is niet zo groot omdat  $\beta$  uit een beperkt aantal meetpunten is geschat en omdat  $V$  van het gecompliceerde lichaam globaal is berekend. Na substitutie van de gemeten ongestoorde aanstroomsnelheid  $u_0$  en van het globaal berekende aanstroomoppervlak  $A$  in (1 en 2) zijn  $C_D$  en  $C_L$  berekend, tabel 6. In figuur 39 zijn  $C_D$  en  $C_L$  als functie van de hoek  $\alpha$  tussen de stroomrichting en de lengte-as van de Mac-Tak uitgezet. Het blijkt dat  $C_D$  een zeer grote waarde kan krijgen als de Mac-Tak dicht bij de as van de stormvloedkering ligt. Door de geringe opening tussen de pijlers en de dorpelbalk kan wellicht een aanzienlijk verval over de dorpelbalk ontstaan, waardoor een grote  $F_D$  wordt gemeten. Uit een vergelijking met de waarden van  $C_D$  en  $C_L$  bij een drijvend caisson met een lengte-breedte verhouding van 3, zie figuur 2.4.1.3 in de bijdrage van Stuij, "Interaction water motion and closing elements" in [3] (Mac-Tak heeft een lengte-breedte verhouding van ongeveer 2,9) blijkt de waarde van  $C_D$  bij de Mac-Tak wat hoger te liggen, wellicht door de gecompliceerde vorm van het onderwaterschip en de niet uniforme stroming. Hiermee wordt ook de spreiding in de waarde van  $C_D$  verklaard. De waarde van  $C_L$  is over het algemeen wat kleiner dan de bij het genoemde caisson gemeten waarde. Indien rekening wordt gehouden met de genoemde verschillen (gecompliceerd onderwaterschip, geen uniforme stroming) dan is de mate van overeenstemming tussen de waarde van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$  bij de Mac-Tak en bij het genoemde caisson bevredigend.

## 5. Konklusies en aanbevelingen

Het modelonderzoek naar de krachten, die tijdens het plaatsen van de dorpelbalken op de combinatie Macoma, Taklift 4 en dorpelbalk (Mac-Tak) worden uitgeoefend, heeft in de volgende konklusies geresulteerd:

- Indien de afstand tussen de dorpelbalken en de as van de stormvloedkering van 200 m tot 0 m afneemt dan
  - neemt de kracht  $F_x$  toe,
  - neemt de kracht  $F_y$  toe, tot de dorpelbalk zich vlak voor de pijlers bevindt. Als de dorpelbalk zich tussen de pijlers bevindt, neemt de kracht  $F_y$  snel af,
  - vertoont het moment  $M_z$  een gecompliceerd verloop.
- In de onderzochte situaties is de verhangkracht kleiner dan de stroomkracht, wellicht met uitzondering van die situaties waarbij de dorpelbalk zich tussen de pijlers bevindt.
- De stroomkracht kan worden berekend met

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho u_o^2 A \quad (1)$$

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho u_o^2 A \quad (2)$$

Hierin zijn  $C_D$ ,  $C_L$  onder andere een funktie van de hoek  $\alpha$  tussen de stroomrichting en de lengte-as van het schip. Voorts zijn deze coëfficiënten afhankelijk van de vorm van het onderwaterschip (onder andere de lengte-breedte verhouding van het onderwaterschip) en het stroomsnelheidsveld. In de Schaar zijn in de situatie met de dorpelbalk tussen de pijlers extreem hoge waarden van  $C_D$  berekend:  $5 < C_D < 7$ . Wellicht zijn deze grote waarden veroorzaakt doordat over de dorpelbalk een aanzienlijk verval is opgetreden. In de overige situaties varieert  $C_D$  tussen 0,8 en 2,0.

- In vergelijking met een caisson met vrijwel dezelfde lengte-breedte verhouding als de Mac-Tak zijn bij de Mac-Tak een grote waarde van  $C_D$  en een enigszins kleinere waarde van  $C_L$  gemeten bij dezelfde aanstroomrichting. Deze verschillen kunnen door het niet-uniforme stroomsnelheidsveld en de complexe geometrie van het onderwaterschip van de Mac-Tak worden verklaard.



- Voor de uitvoering van een fysisch modelonderzoek waarin de stroomkracht op een schip gemeten wordt, wordt aanbevolen van een meetframe gebruik te maken en vooraf te onderzoeken of een schematisatie van een gecompliceerd onderwaterschip de meetresultaten niet te sterk zal beïnvloeden.

## LITERATUUR

- 1 Waterloopkundig Laboratorium  
Stormvloedkering Oosterschelde, plaatsingsproces dorpelbalken. Krachten op en bewegingen van het drijvende plaatsingsmaterieel.  
Verslag modelonderzoek M 1685, Delft, juli 1982
  
- 2 Waterloopkundig Laboratorium  
Stormvloedkering Oosterschelde. Detailmodel sluitgaten, deel II. Ontgrondingsonderzoek voor vergelijking sluitingsmethoden.  
Verslag modelonderzoek M 1001, Delft, februari 1973
  
- 3 Huis in 't Veld, J.C, Stuip, J. et al  
The closure of tidal basins, closing of estuaries, tidal inlets and dike breaches  
Delft University Press, Delft, 1984

toestand- nummer	stroomgeul	ebdebiet	geplaatste dorpels	afstand schip tot as SVKO	positie Mac-Tak	diepgang schip*				diepgang dorpel	schematisatie dorpel
						T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>		
-	-	m <sup>3</sup> /s	-	m	-	m	m	m	m	-	
1	Roompot	60.000	R1...R12, R32	-	R13	-	-	-	-	-	-
2		60.000		200		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	1
3		60.000		100		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	1
4		60.000		32		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	1
5		60.000		20		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	1
6		60.000		15		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	1
6.1		60.000		15		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
6.2		60.000		15		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
7		60.000		4		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
7.1		60.000		4		4,60	3,70	1,70	3,00	6,5	2
7.2		60.000		4		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
8	Hammen	25.840	H10	-	H15	-	-	-	-	-	-
9		25.840		200		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
10		25.840		50		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
11		25.840		32		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
12		25.840		15		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
13		25.840		0		4,80	3,90	1,70	3,00	6,5	2
14.1	Schaar	13.100	S1...S8	1	S9	4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
14.2		18.500		1		4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
14.3		22.700		1		4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
15.1		13.100		8		4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
15.2		18.500		8		4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
15.3		22.700		8		4,70	4,70	2,50	2,50	6,4	3
16		18.500		-		-	-	-	-	6,4	-
17.1	Schaar	19.580	0	0	S10	4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
17.2		9.790		0		4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
18.1		19.580		13		4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
18.2		9.790		13		4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
19.1		19.580		50		4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
19.2		9.790		50		4,20	3,80	1,40	3,50	7,3	3
20		19.580		-		-	-	-	-	-	-

Schematisatie dorpel:

- 1 zonder nokken
- 2 met geometrisch ongelijkvormige nokken
- 3 met geometrisch gelijkvormige nokken
- \* zie voor T<sub>1</sub>...T<sub>4</sub> figuur 4

Tabel 1 Overzicht van uitgevoerde proeven

grootheid	eenheid	schaalfactor
geometrische lengte	m	80
stroomsnelheid	m/s	9
waterstand	m	80
krachten	N	512000

Tabel 2 Overzicht schaalfactoren

toestand	verval										verval h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub>	verval h <sub>1</sub> -h <sub>4</sub>
	h <sub>b</sub> zuid	h <sub>b</sub> noord	Δh zuid	Δh noord	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>		
-	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	-0,73	-0,66	0,70	0,65	-0,68	-0,05	-0,42	0,03				0,71
2	-0,76	-0,71	0,69	0,66	-0,68	-0,09	-0,38	-0,28				0,40
3	-0,76	-0,71	0,69	0,66	-0,68	-0,09	-0,39	-0,03				0,71
4	-0,73	-0,66	0,70	0,65	-0,69	-0,06	-0,42	0,03				0,72
5	-0,77	-0,70	0,76	0,70	-0,72	-0,02	-0,43	0,05				0,77
6	-0,77	-0,70	0,76	0,70	-0,84	-0,06	-0,45	0,02				0,86
6.1	-0,77	-0,70	0,76	0,70	-0,84	-0,06	-0,45	0,02				0,86
6.2	-0,77	-0,70	0,76	0,70	-0,84	-0,06	-0,45	0,02				0,86
7	-0,75	-0,69	0,75	0,70	-0,78	-0,05	-0,44	0,03				0,81
7.1	-0,75	-0,69	0,75	0,70	-0,78	-0,05	-0,44	0,03				0,81
7.2	-0,75	-0,69	0,75	0,70	-0,78	-0,05	-0,44	0,03				0,81
8	-0,18	-0,30	0,53	0,58	-0,29	0,16	0,07	0,32				0,61
9	-0,18	-0,30	0,53	0,58	-0,29	0,13	0,32	0,27				0,56
10	-0,17	-0,26	0,56	0,64	-0,27	0,18	0,16	0,26				0,53
11	-0,17	-0,26	0,56	0,64	-0,30	0,18	0,19	0,46				0,76
12	-0,17	-0,26	0,56	0,64	-0,28	0,20	0,21	0,35				0,63
13	-0,17	-0,26	0,56	0,64	-0,27	0,22	0,22	0,34				0,61
14.1	1,27		0,22		1,31	1,50	1,29	1,48	1,42	1,50	0,19	
14.2	1,34		0,44		1,40	1,79	1,35	1,77	1,62	1,79	0,39	
14.3	1,31		0,66									
15.1	1,27		0,22		1,31	1,50	1,27	1,46	1,42	1,50	0,19	
15.2	1,33		0,43		1,38	1,77	1,34	1,74	1,62	1,77	0,39	
15.3	1,30		0,64									
16	1,33		0,40		1,33	1,70	1,33	1,70	1,62	1,72	0,37	
17.1	-0,66		0,31		-0,67	-0,39	-0,65	-0,45	-0,46	-0,39	0,28	
17.2	-0,71		0,08		-0,74	-0,67	-0,72	-0,67	-0,70	-0,66	0,07	
18.1	-0,66		0,29		-0,68	-0,42	-0,68	-0,46	-0,48	-0,40	0,26	
18.2	-0,71		0,07		-0,74	-0,66	-0,73	-0,67	-0,70	-0,66	0,08	
19.1	-0,68		0,27		-0,66	-0,43	-0,66	-0,42	-0,50	-0,42	0,23	
19.2	-0,72		0,06		-0,73	-0,66	-0,71	-0,66	-0,68	-0,66	0,07	
20					-0,71	-0,46	-0,70	-0,64	-0,51	-0,45	0,25	

alle waterstanden in m ten opzichte van NAP

Tabel 3 Gemeten waterstanden

toestand	$u_{hek}$ ongestoord	$u_0$	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$	$u_7$	$u_8$
-	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1										
2	1,83	-	4,58	4,74	1,83	1,94	1,75	1,86	1,70	1,87
3	2,03	-	4,41	4,71	1,82	1,94	1,71	1,83	1,65	1,84
4	3,06	4,24	4,90	4,92	1,83	2,12	1,75	1,75	1,74	1,88
5	3,49	3,83	5,09	4,83	1,79	2,14	1,74	1,76	1,67	1,84
6	3,77	-	4,94	4,73	1,83	2,15	1,70	1,71	1,75	1,87
6.1	3,77	-	4,94	4,73	1,83	2,15	1,70	1,71	1,75	1,87
6.2	3,77	-	4,94	4,73	1,83	2,15	1,70	1,71	1,75	1,87
7	4,53	-	5,22	4,67	1,75	2,10	1,70	1,71	1,70	1,88
7.1	4,53	-	5,22	4,67	1,75	2,10	1,70	1,71	1,70	1,88
7.2	4,53	-	5,22	4,67	1,75	2,10	1,70	1,71	1,70	1,88
8										
9	1,71	3,44	3,67	-	1,60	2,03	1,44	1,72	1,61	1,43
10	2,07	2,82	3,67	-	1,92	1,87	1,75	1,59	1,52	1,53
11	2,45	1,88	3,79	-	1,80	1,82	1,68	1,57	1,53	1,45
12	3,09	1,65	3,67	-	1,90	1,76	1,68	1,59	1,52	1,45
13	3,47	-	3,52	-	1,90	1,74	1,65	1,57	1,49	1,45
14.1	-		2,03	2,50	0,91	1,10	0,92	0,99	0,92	0,92
14.2	3,40		2,95	3,50	1,34	1,53	1,34	1,42	1,32	1,34
14.3	-		-	-	-	-	-	-	-	-
15.1	-		2,11	2,52	0,94	1,10	0,95	0,95	0,95	0,89
15.2	3,25		2,68	3,59	1,36	1,57	1,32	1,37	1,28	1,37
15.3	-		-	-	-	-	-	-	-	-
16	-		2,87	3,51	1,39	1,55	1,34	1,45	1,34	1,36
17.1	3,20		3,04	3,32	1,64	1,45	1,71	1,53	1,64	1,61
17.2	-		1,49	1,60	0,84	0,70	0,82	0,83	0,83	0,81
18.1	2,90		3,14	3,20	1,63	1,51	1,68	1,64	1,62	1,59
18.2	-		1,49	1,52	0,83	0,83	0,79	0,82	0,85	0,79
19.1	1,80		-	3,06	1,60	1,63	1,69	1,60	1,65	1,58
19.2	-		1,48	1,49	0,83	0,83	0,87	0,84	0,86	0,81
20	-		3,11	3,08	1,74	1,57	1,73	1,69	1,69	1,55

Tabel 4 Gemeten stroomsnelheden

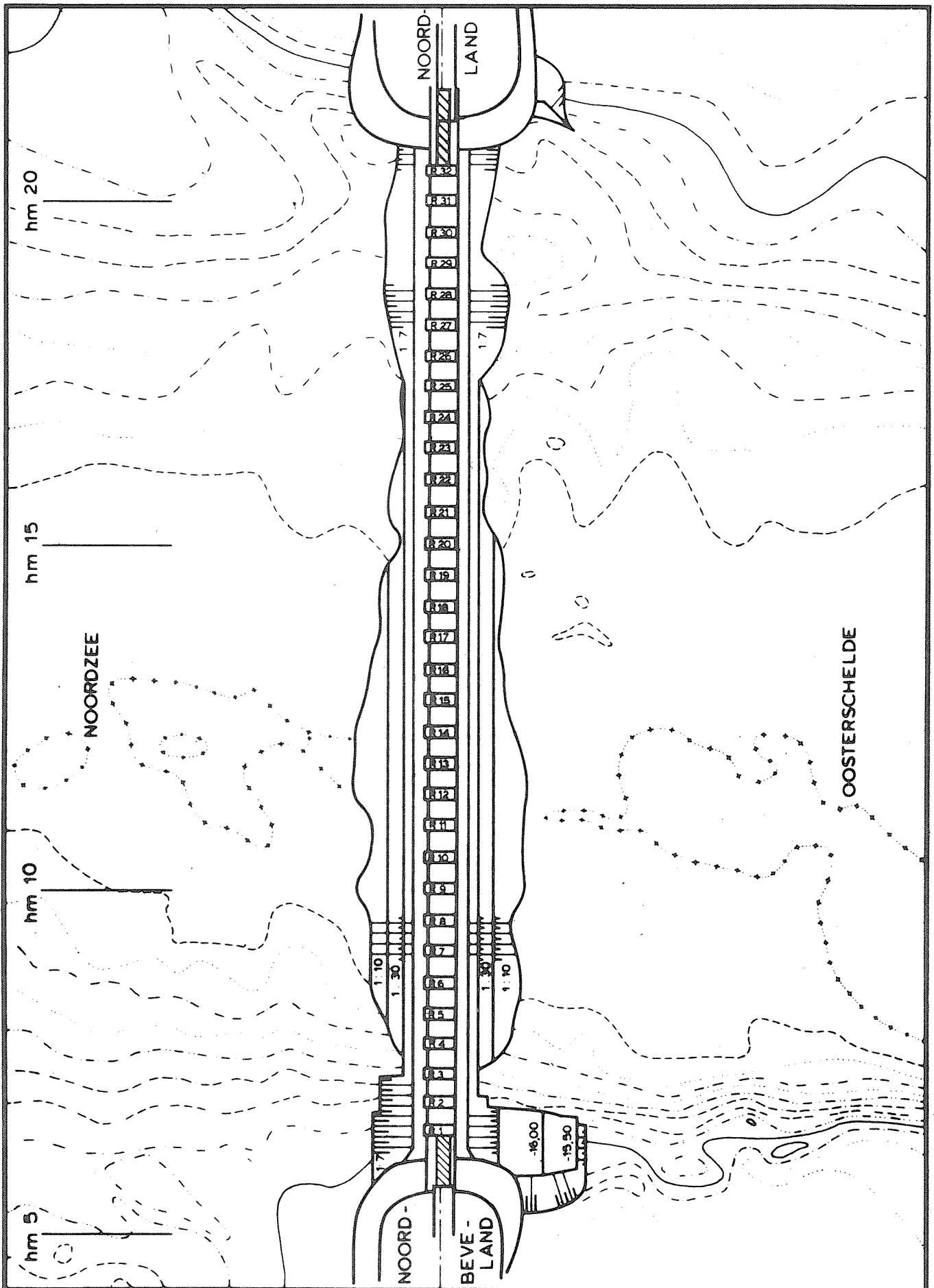
toestand	$F_x$	$F_y$	$M_z$
-	kN	kN	kNm
2	450	200	-6380
3	580	350	-9470
4	1790	720	-3630
5	2110	920	3160
6	2300	1010	3590
6.1	2430	1000	600
6.2	2430	1180	11060
7	2470	610	-20020
7.1	2430	440	-15260
7.2	2500	480	-16610
9	490	-410	10980
10	970	-630	7340
11	1410	-620	7590
12	1540	-490	13990
13	1470	-470	20460
14.1	820	30	-3670
14.2	1540	60	-7340
14.3	2430	80	-11260
15.1	1020	80	-1030
15.2	1660	130	-2430
15.3	2560	190	-4360
17.1	1410	-100	5350
17.2	310	-30	1500
18.1	1410	-120	4900
18.2	310	-30	1390
19.1	610	-110	5120
19.2	150	-20	610

Tabel 5 Gemeten krachten op de Macoma-  
Taklift 4 en dorpelbalk

toestand	$F_{tot}$	$\beta$	$F_D$	$F_L$	$u_o$	$\alpha$	A	$C_D$	$C_L$
-	kN	°	kN	kN	m/s	°	m <sup>2</sup>	-	-
2	492	24	472	85	1,20	14	480-500	1,35-1,45	0,2 -0,3
3	677	31	609	82	1,32	24	580-615	1,2 -1,3	0,1 -0,2
4	1929	22	1700	67	1,94	20	540-570	1,65-1,75	0,05-0,15
5	2301	23,5	1960	260	2,19	17	510-535	1,6 -1,7	0,2 -0,3
6	2512	23,7	2150	466	2,36	13	470-490	1,55-1,65	0,3 -0,4
6.1	2628	22,4	2280	429	2,36	13	470-490	1,65-1,75	0,3 -0,4
6,2	2701	25,9	2320	603	2,36	13	470-490	1,7 -1,8	0,4 -0,5
7	2544	13,8	2220	168	2,81	10	430-440	1,25-1,35	0,05-0,15
7.1	2469	10,3	2150	12	2,81	10	425-435	1,2 -1,3	0,0 -0,1
7.2	2546	10,9	2230	40	2,81	10	430-440	1,25-1,35	0,0 -0,1
9	639	39,9	624	54	1,12	35	680-710	1,4 -1,5	0,1 -0,2
10	1157	33,0	1100	100	1,34	28	620-645	1,9 -2,0	0,1 -0,2
11	1540	23,7	1350	99	1,57	20	540-560	1,9 -2,0	0,1 -0,2
12	1616	17,6	1510	73	1,95	15	480-495	1,6 -1,7	0,05-0,15
13	1543	17,7	1460	126	2,18	13	460-470	1,3 -1,4	0,1 -0,2
14.1	820	2,1	760	30	1,00	0	285-315	4,8 -5,3	0,15-0,25
14.2	1541	2,2	1420	60	1,50	0	285-315	4,0 -5,1	0,15-0,25
15.1	1023	4,5	945	55	1,00	0-2,1	285-315	6,0 -6,6	0,3 -0,4
15.2	1665	4,5	1550	90	1,50	0-2,1	285-315	4,3 -5,5	0,25-0,35
17.1	1413	4,0	1300	413	1,65	21	530-550	1,7 -1,8	0,5 -0,6
17.2	311	5,5	295	67	0,85	18	520-540	1,5 -1,6	0,3 -0,4
18.1	1415	4,9	1315	366	1,60	19	530-540	1,9 -2,0	0,5 -0,6
18.2	311	5,5	290	77	0,84	20	530-540	1,5 -1,6	0,4 -0,5
19.1	620	10,2	615	75	1,70	17	510-530	0,8 -0,9	0,05-0,15
19.2	151	7,6	150	16	0,84	14	480-500	0,8 -0,9	0,05-0,15

Tabel 6 Berekening van de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_L$





PLATTEGROND ROOMPOT

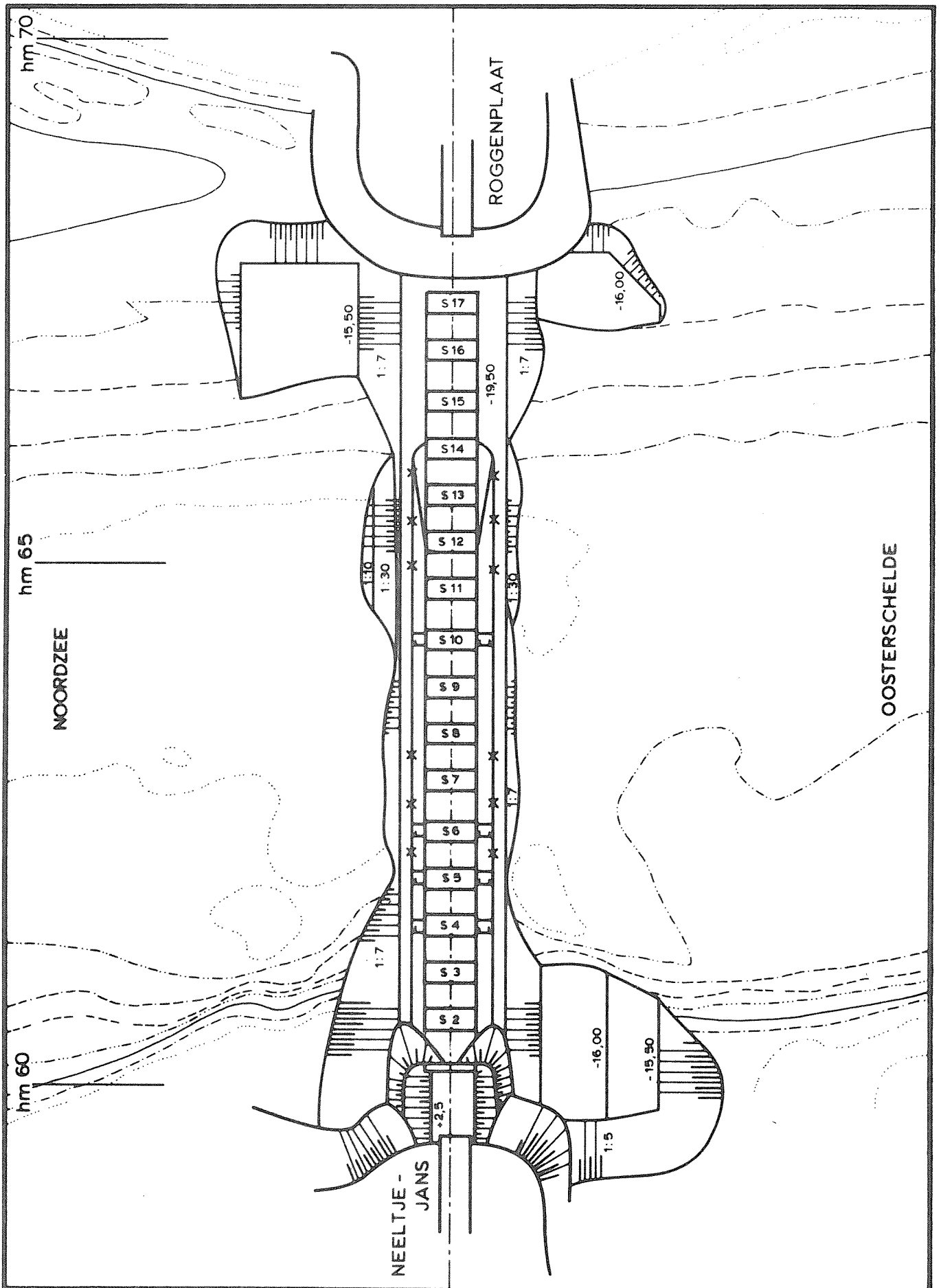
ROOMPOT

SCHAAL 1: 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 1



PLATTEGROND SCHAAR

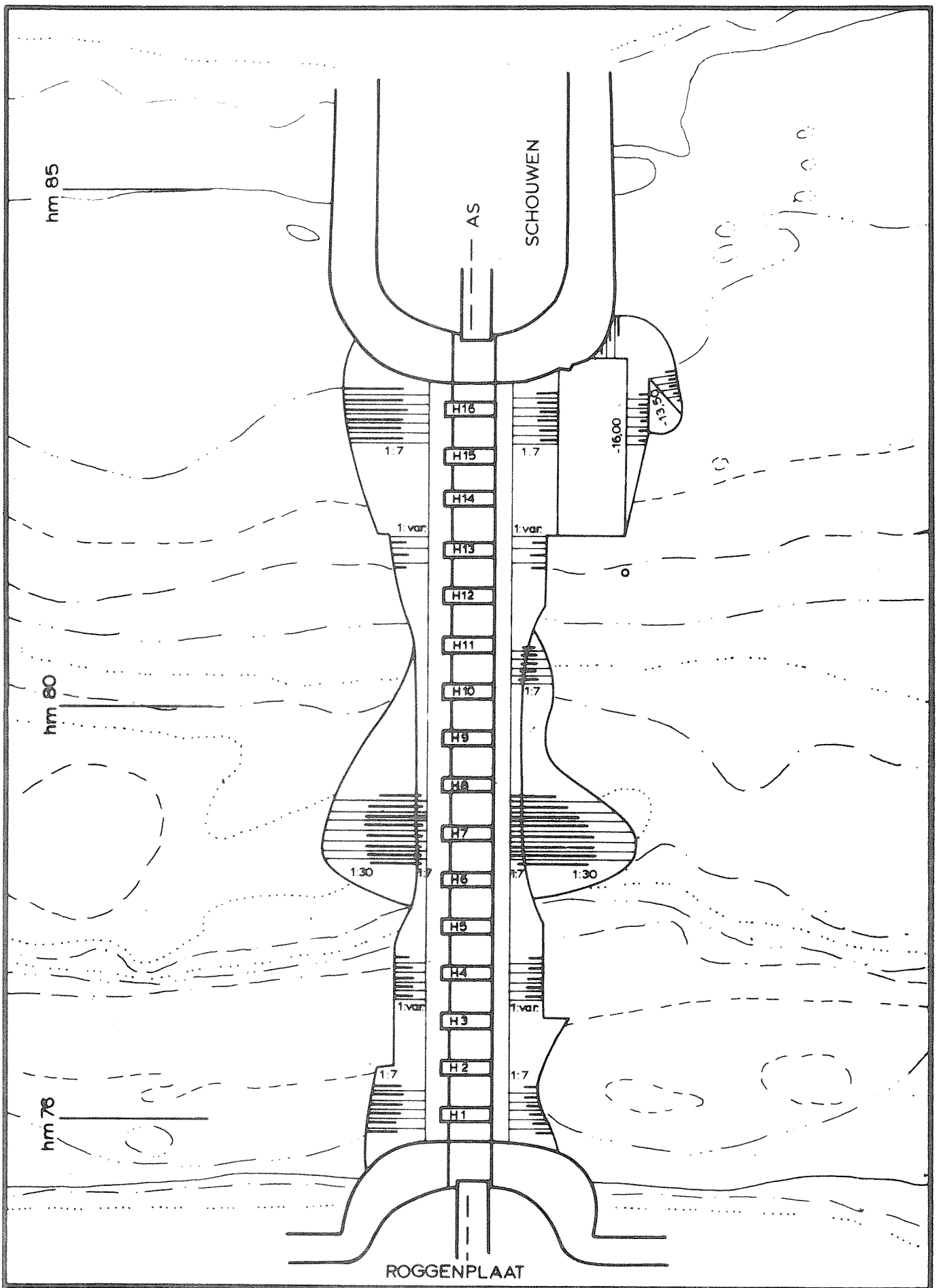
SCHAAR

SCHAAL 1: 5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 2



PLATTEGROND HAMMEN

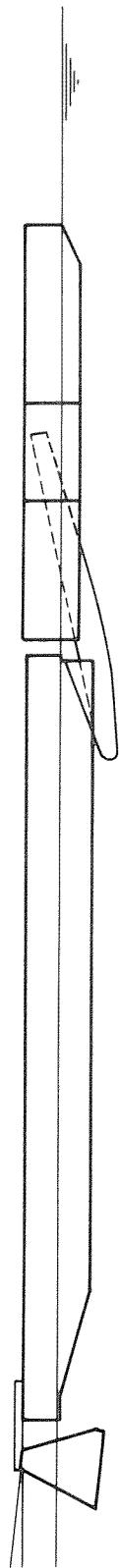
HAMMEN

SCHAAL 1:5.000

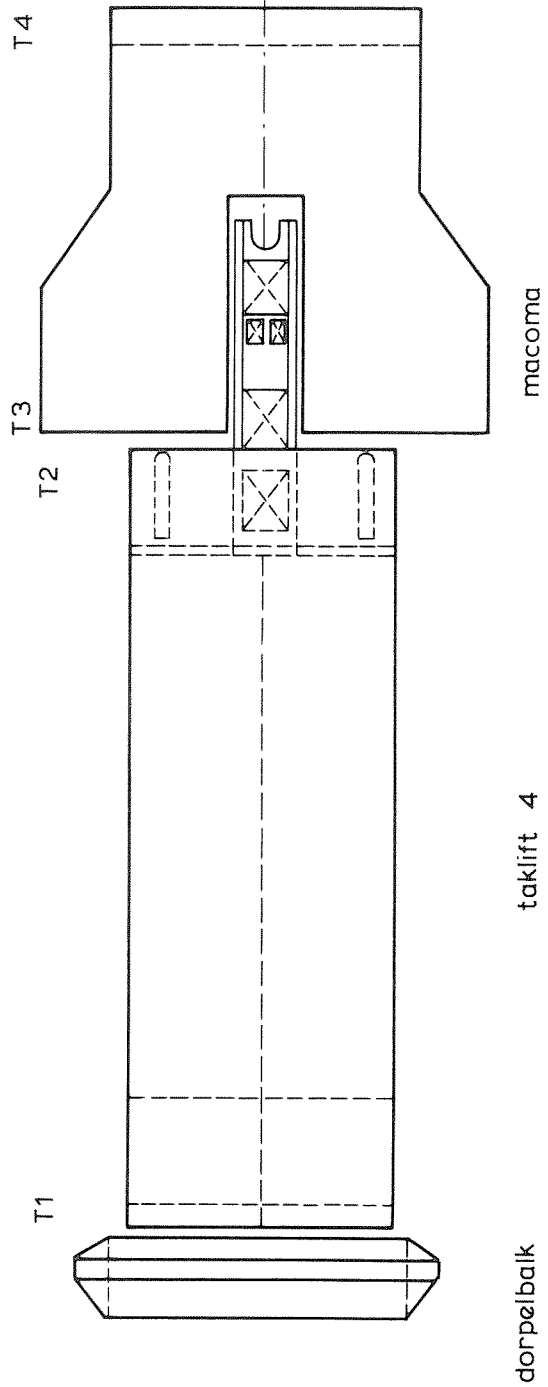
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 3



ZIJAAANZICHT



BOVENAANZICHT

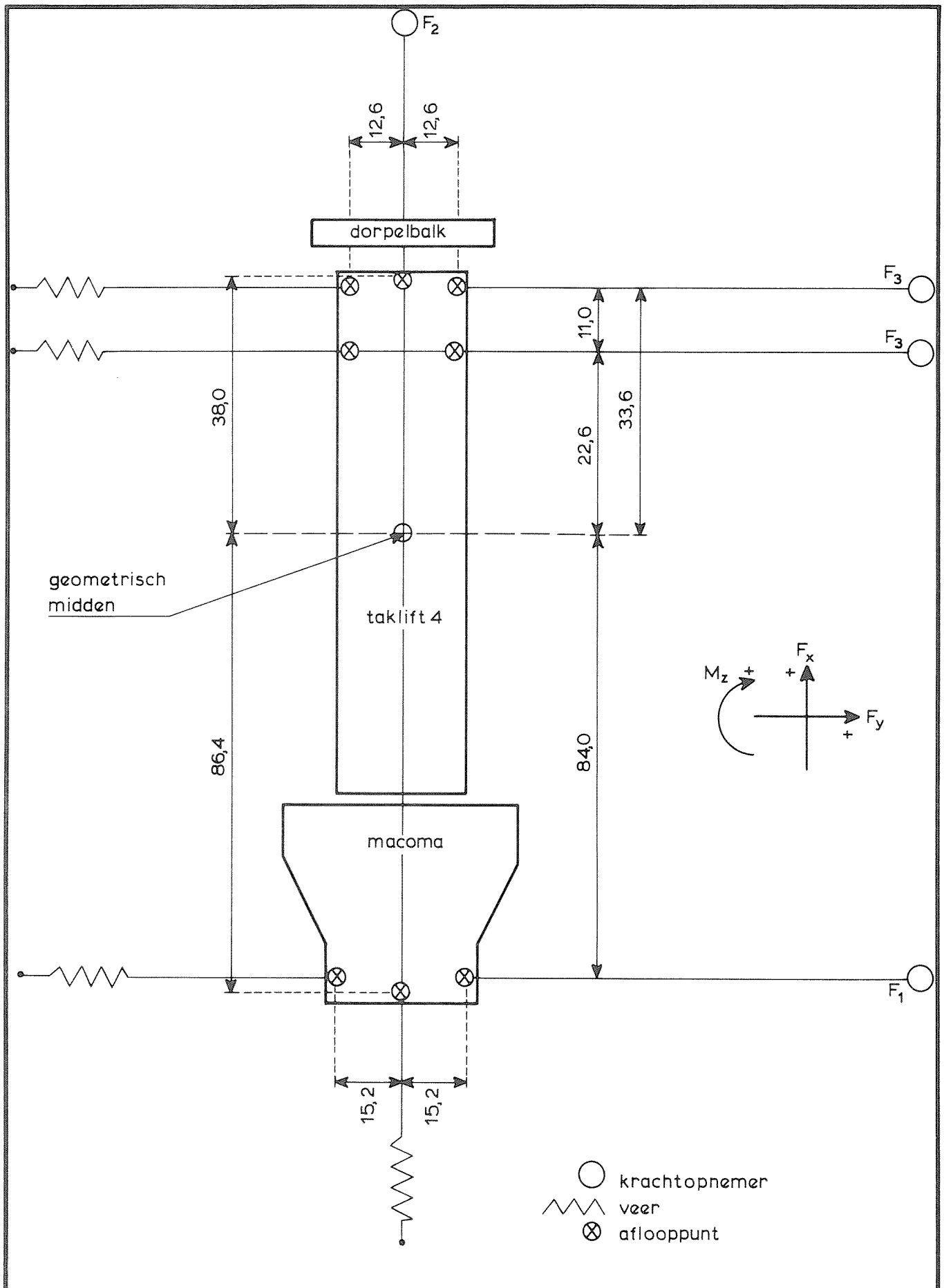
COMBINATIE MACOMA, TAKLIFT 4 EN  
DORPELBALK

SCHAAL 1:800

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 4

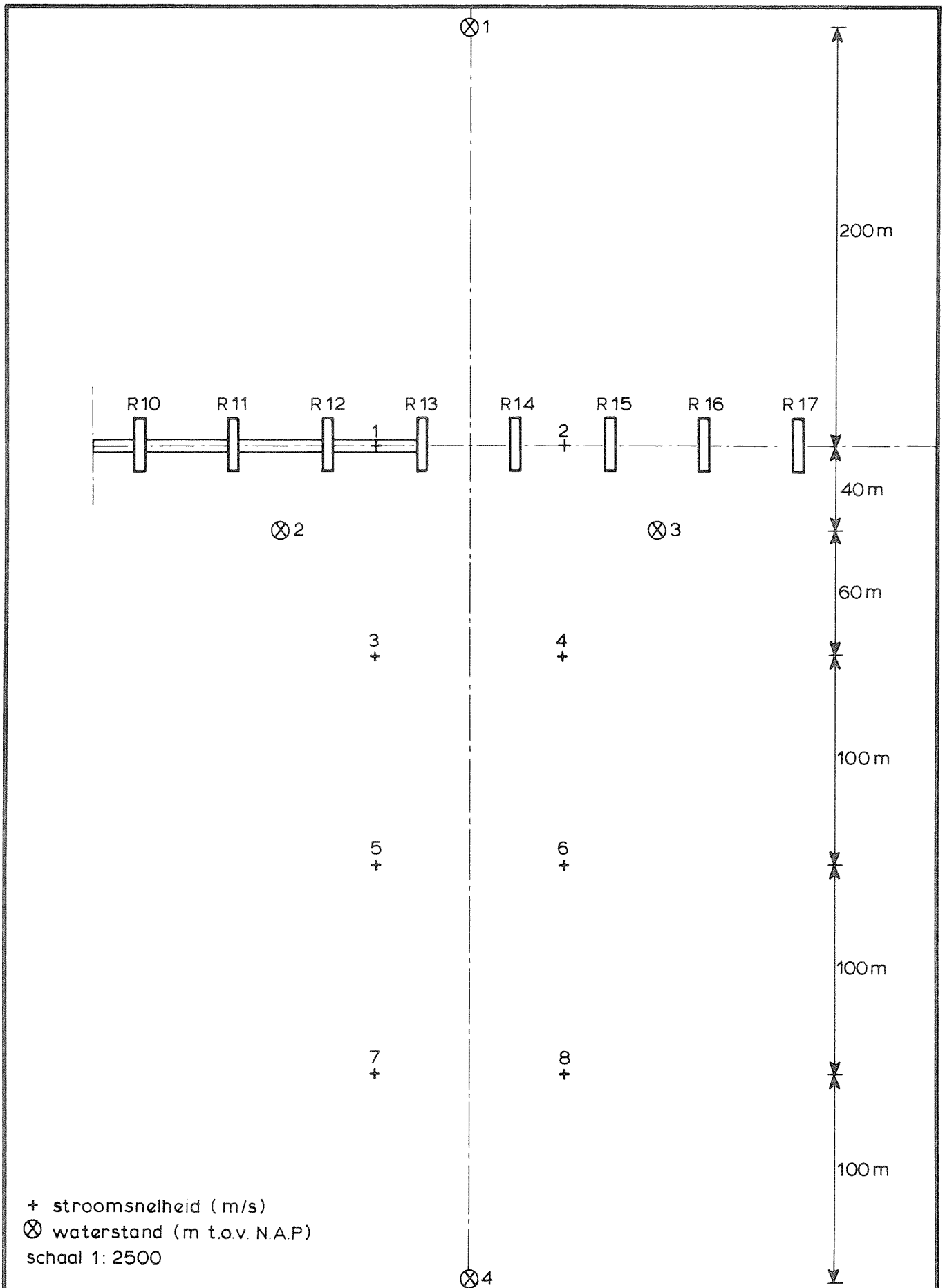


MEETOPSTELLING KRACHTMETING

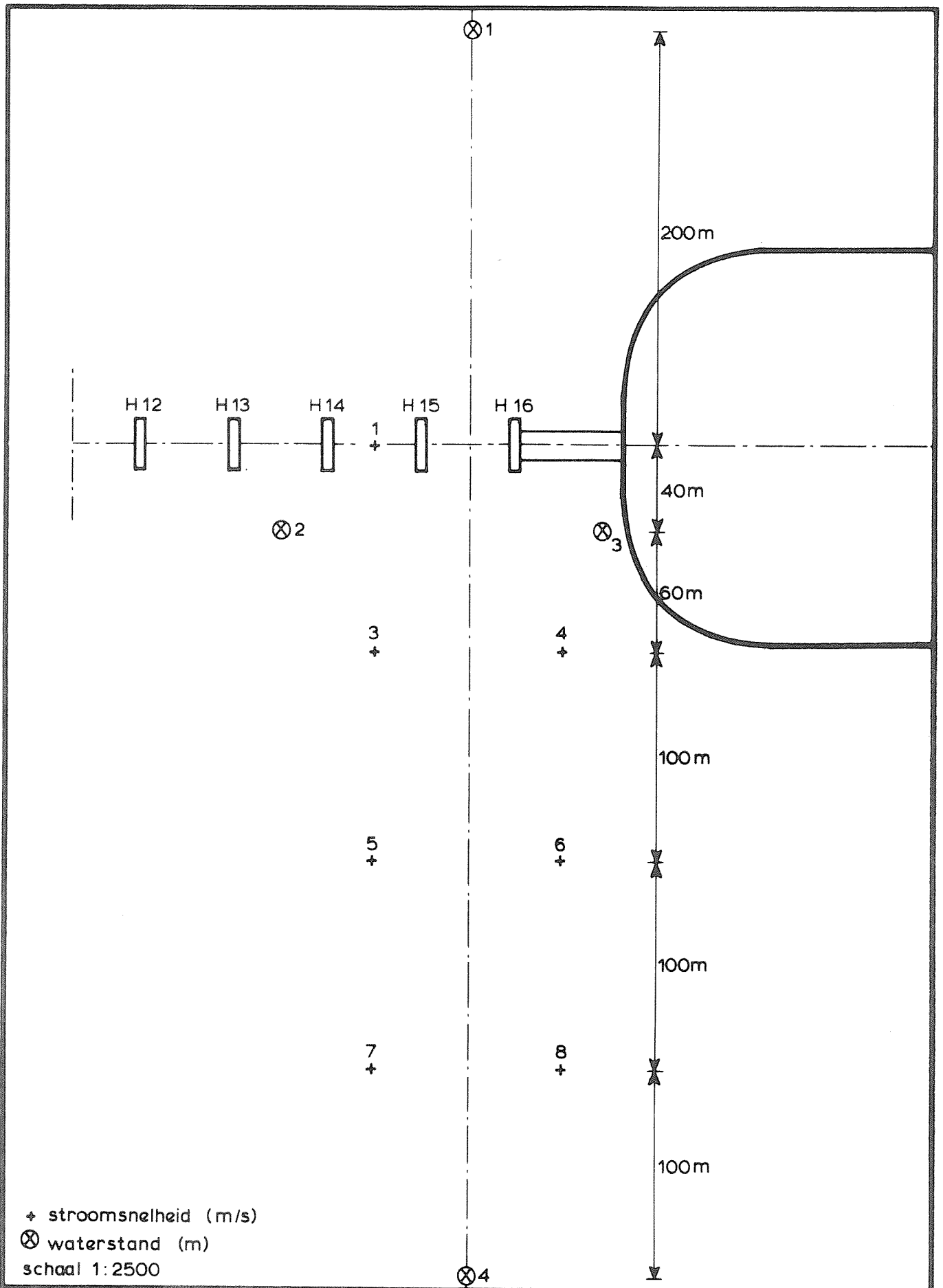
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 5



MEETOPSTELLING WATERBEWEGING ROOMPOT	T1 - T7	EB
	ROOMPOT	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 6



MEETOPSTELLING WATERBEWEGING HAMMEN

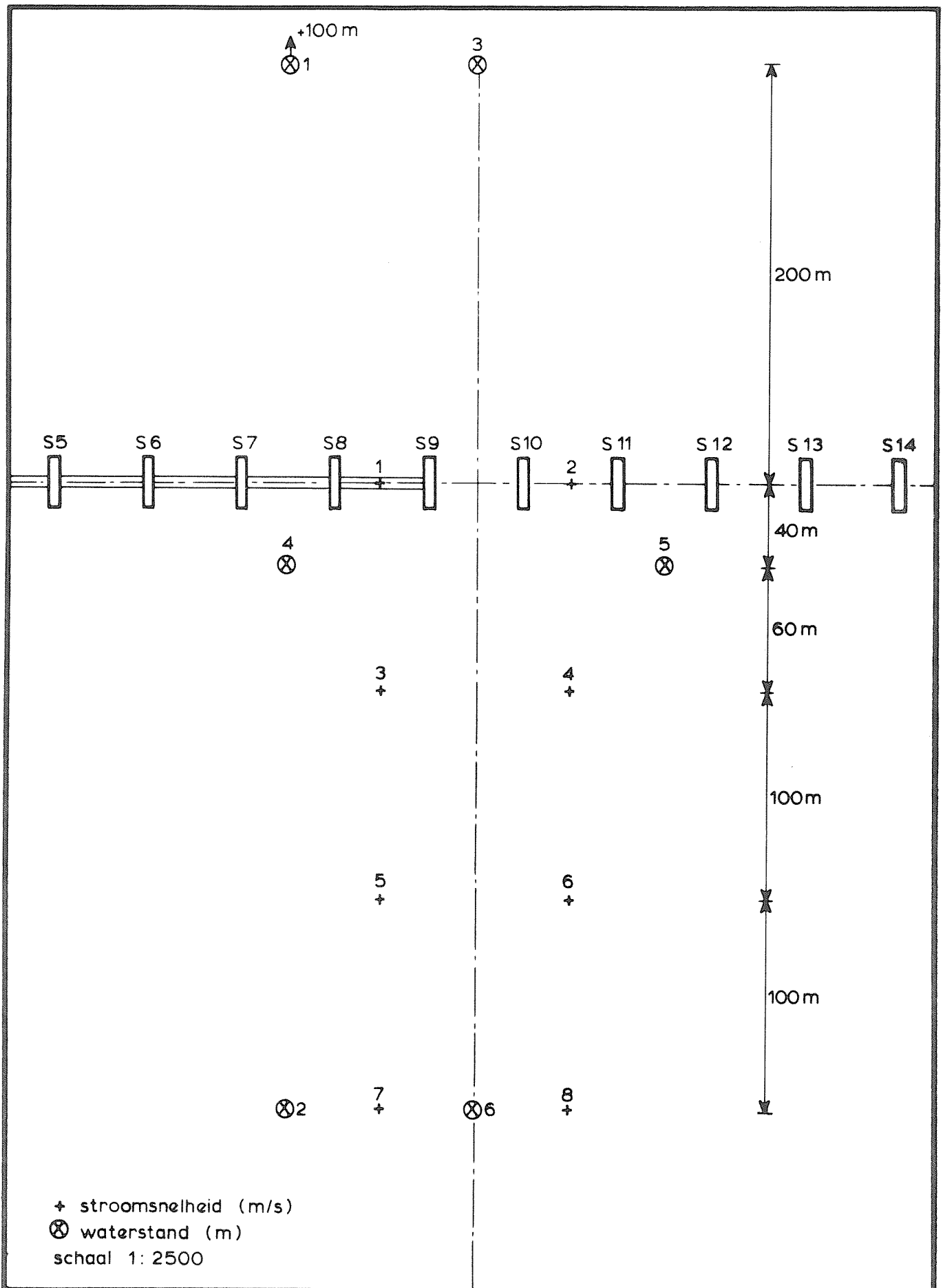
T8 - T13

HAMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 7



MEETOPSTELLING WATERBEWEGING SCHAAR

T14-T16

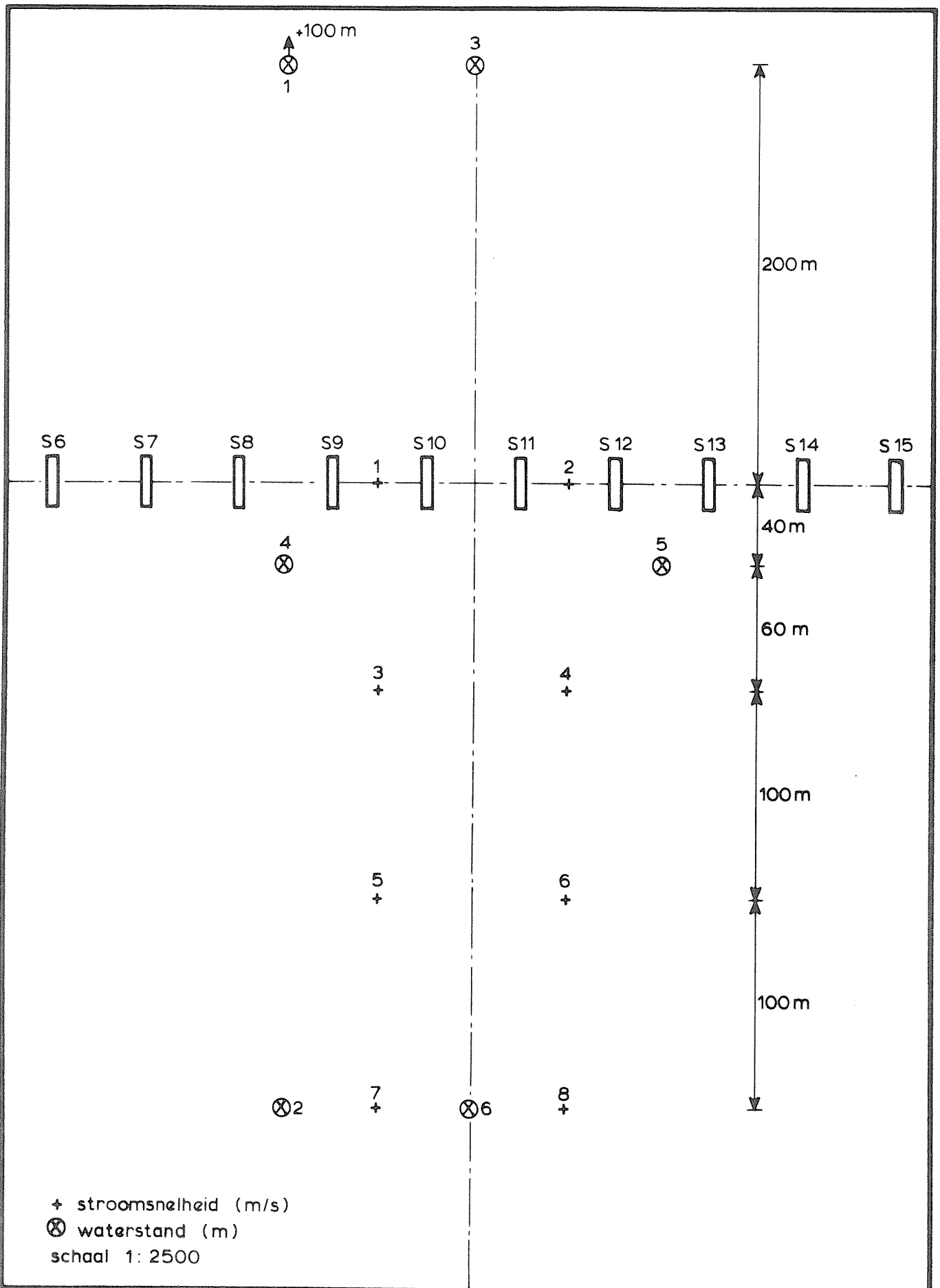
SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 8





MEETOPSTELLING WATERBEWEGING SCHAAR

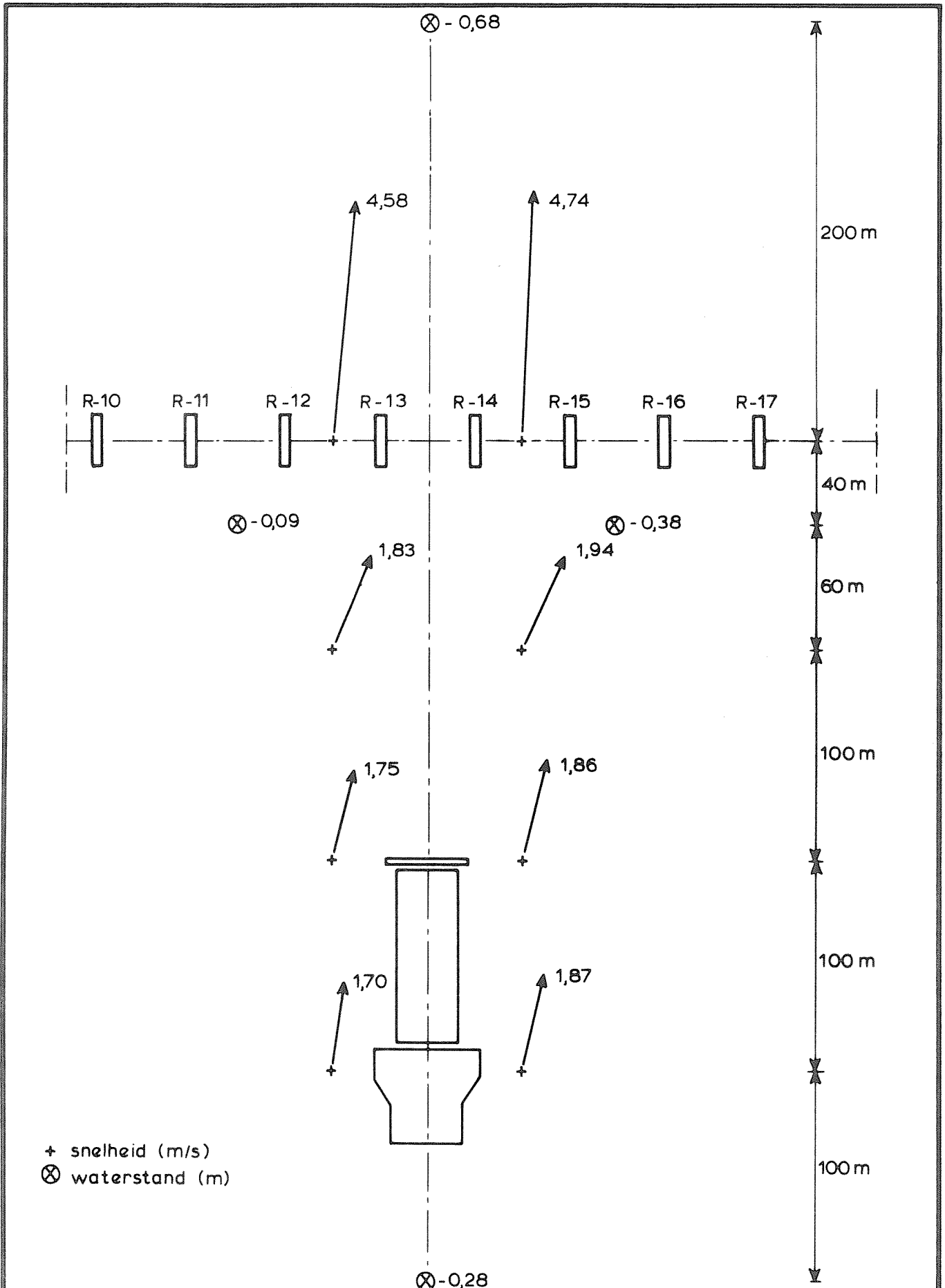
T17-T20

SCHAAR

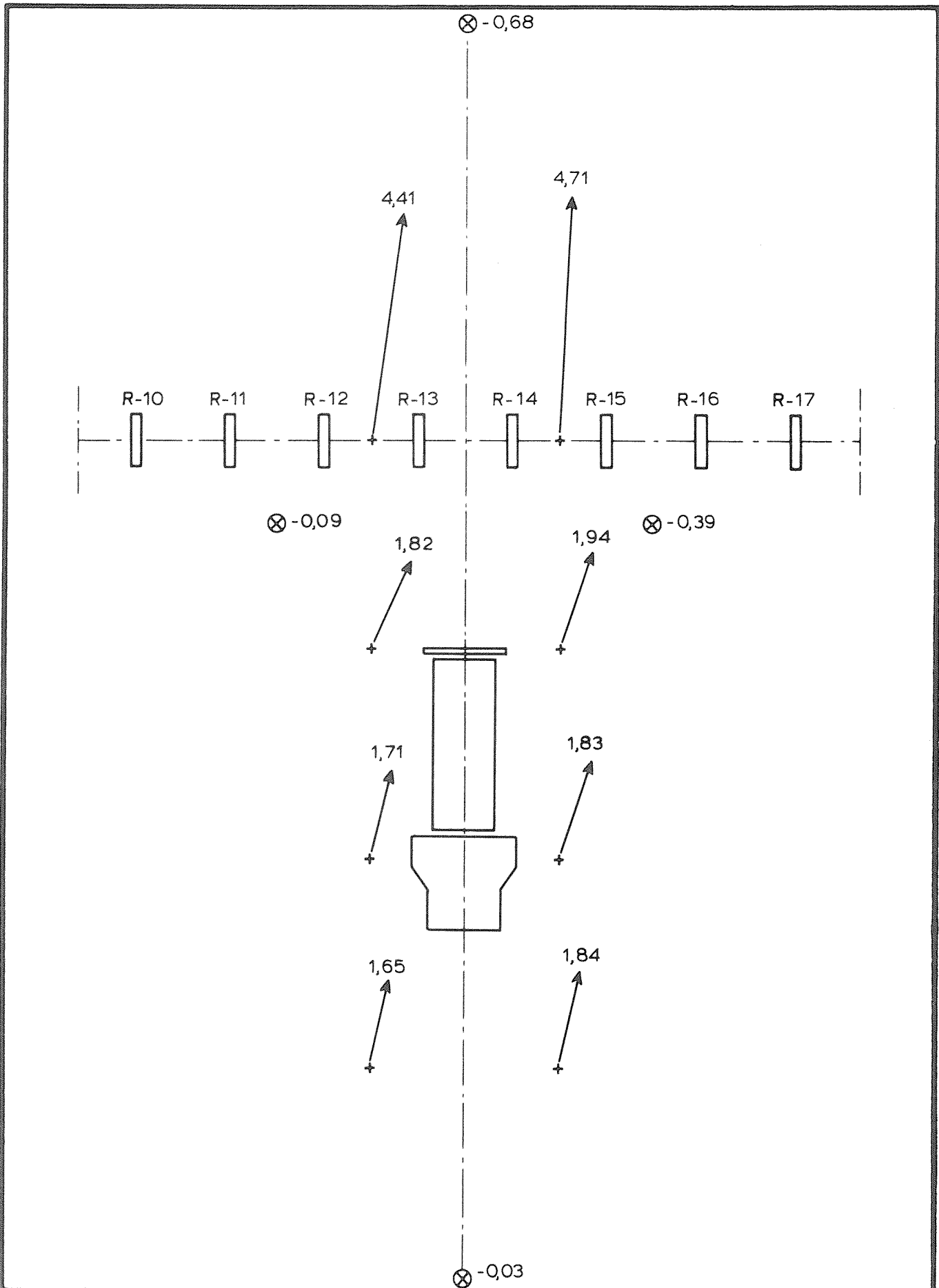
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 9



WATERBEWEGING T 2	T 2	EB
	ROOMPOT	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 10



WATERBEWEGING T 3

T 3

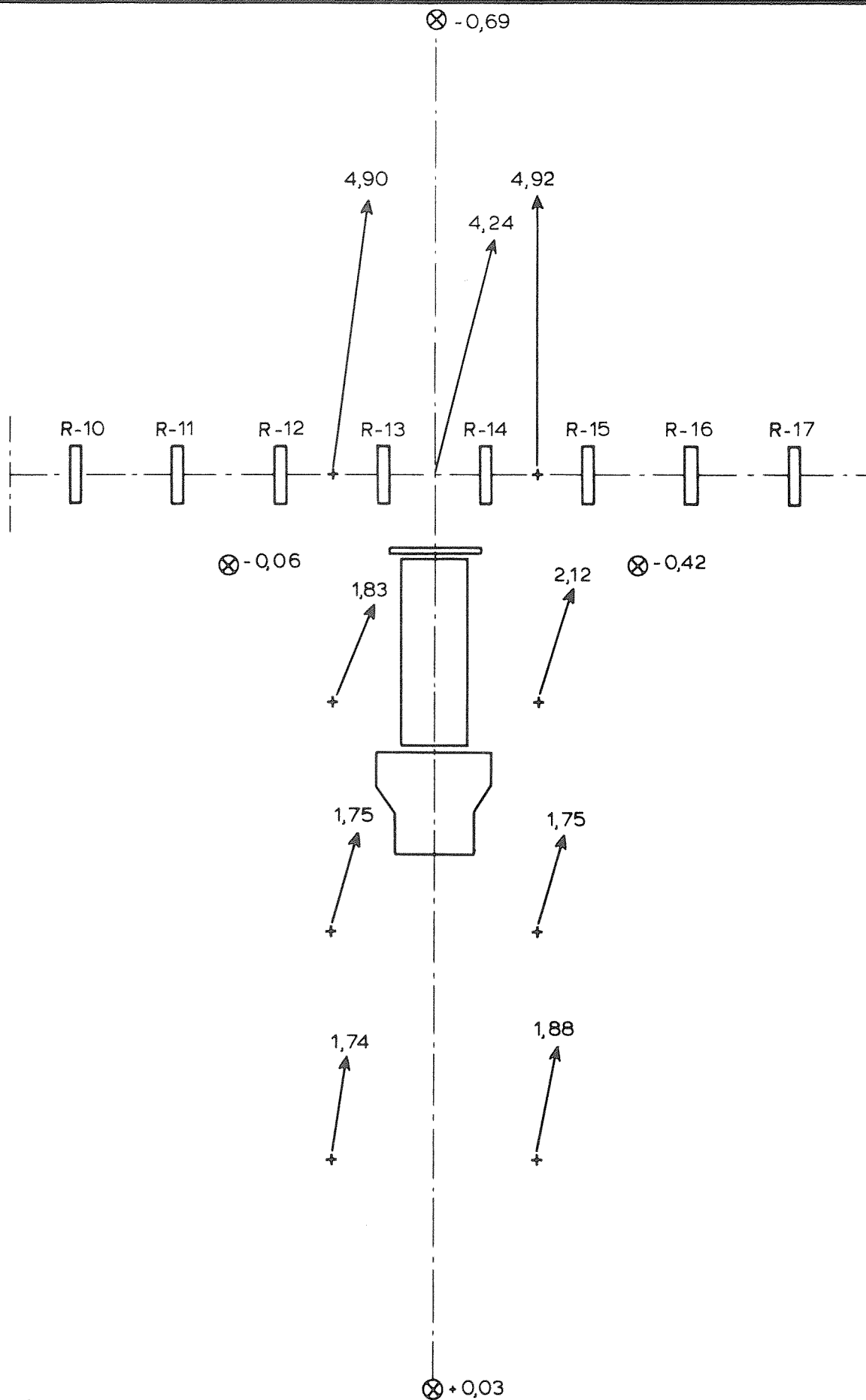
EB

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 11



WATERBEWEGING T4

T4

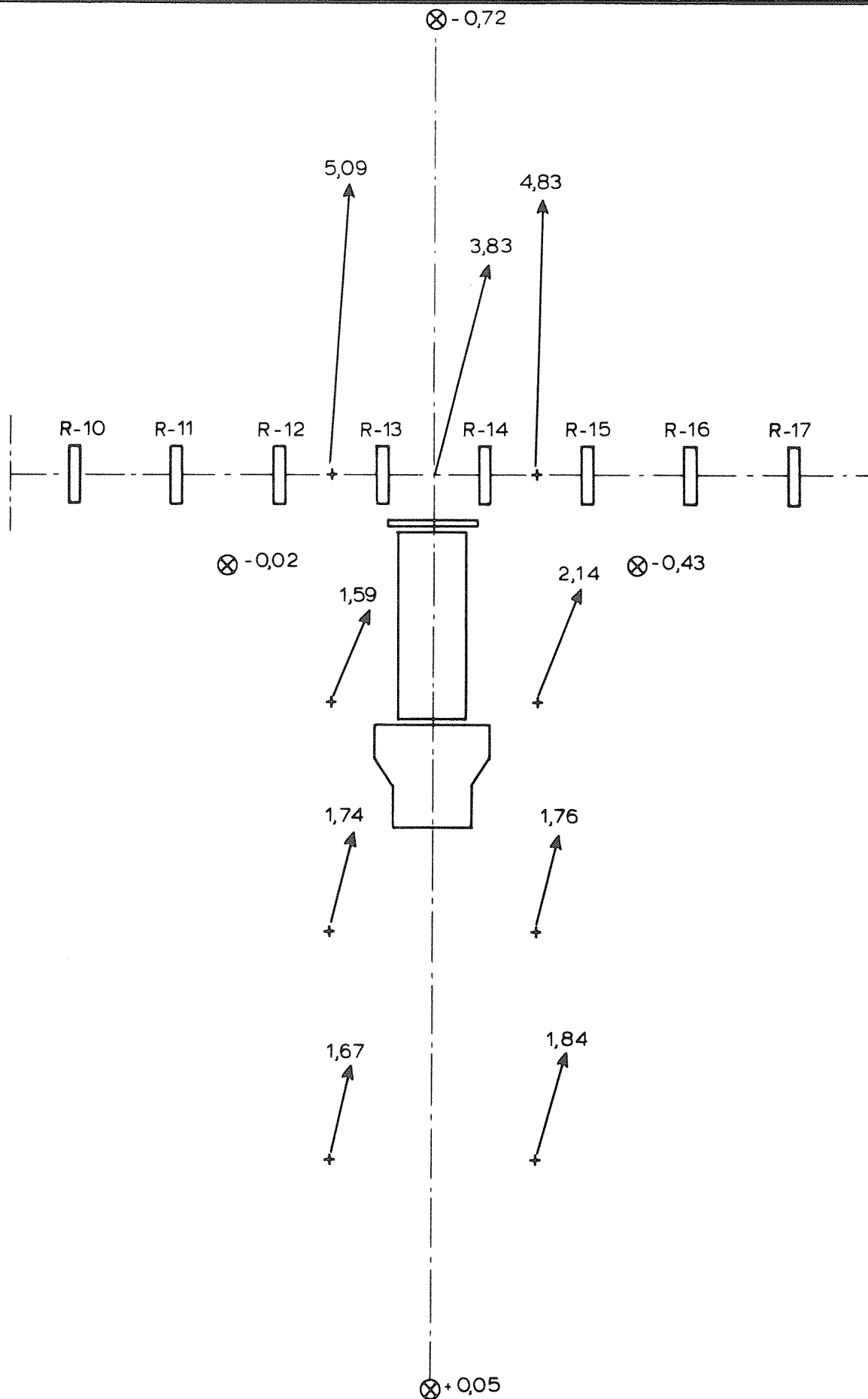
EB

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 12



WATERBEWEGING T 5

T 5

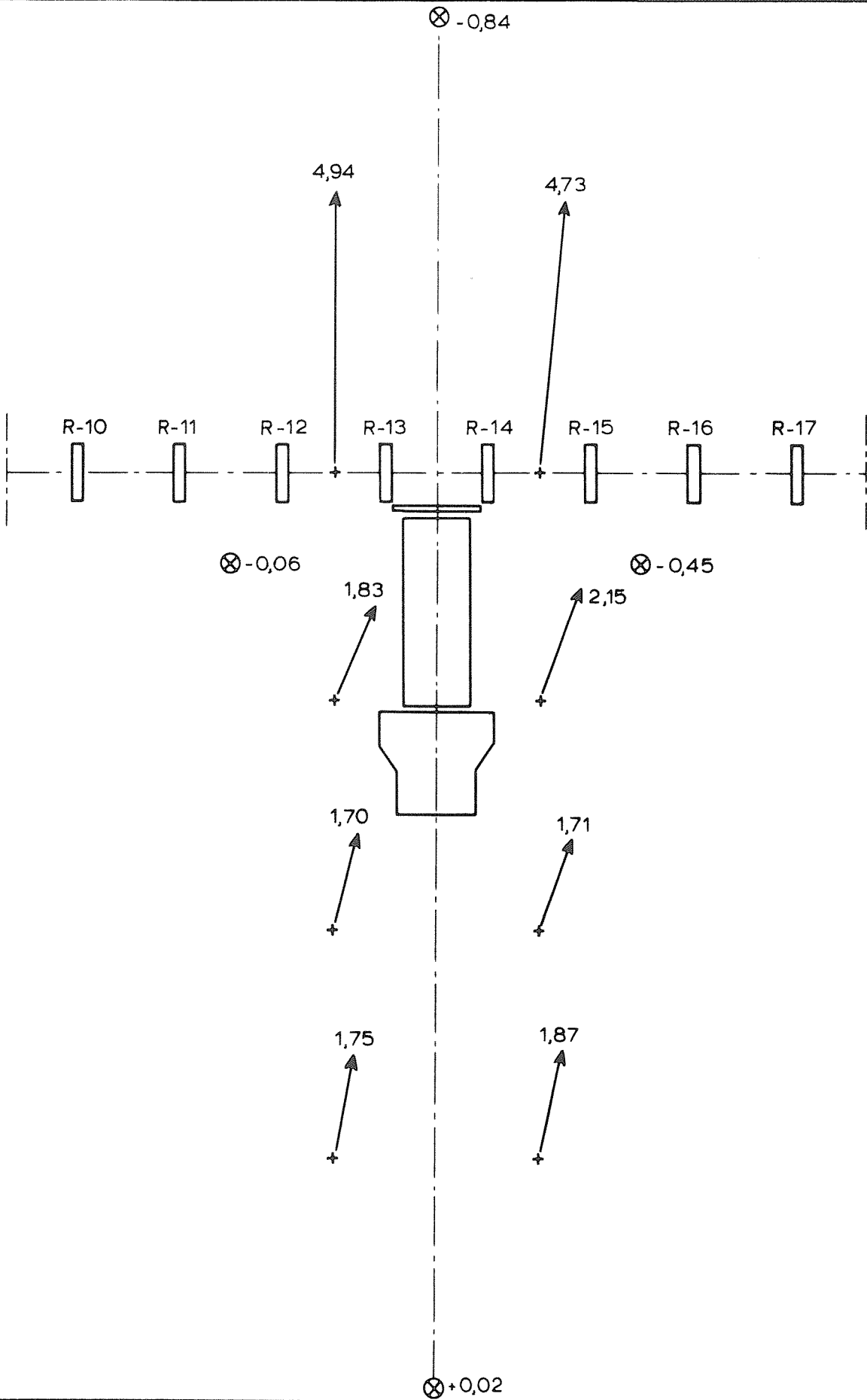
EB

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 13



WATERBEWEGING T 6

T 6

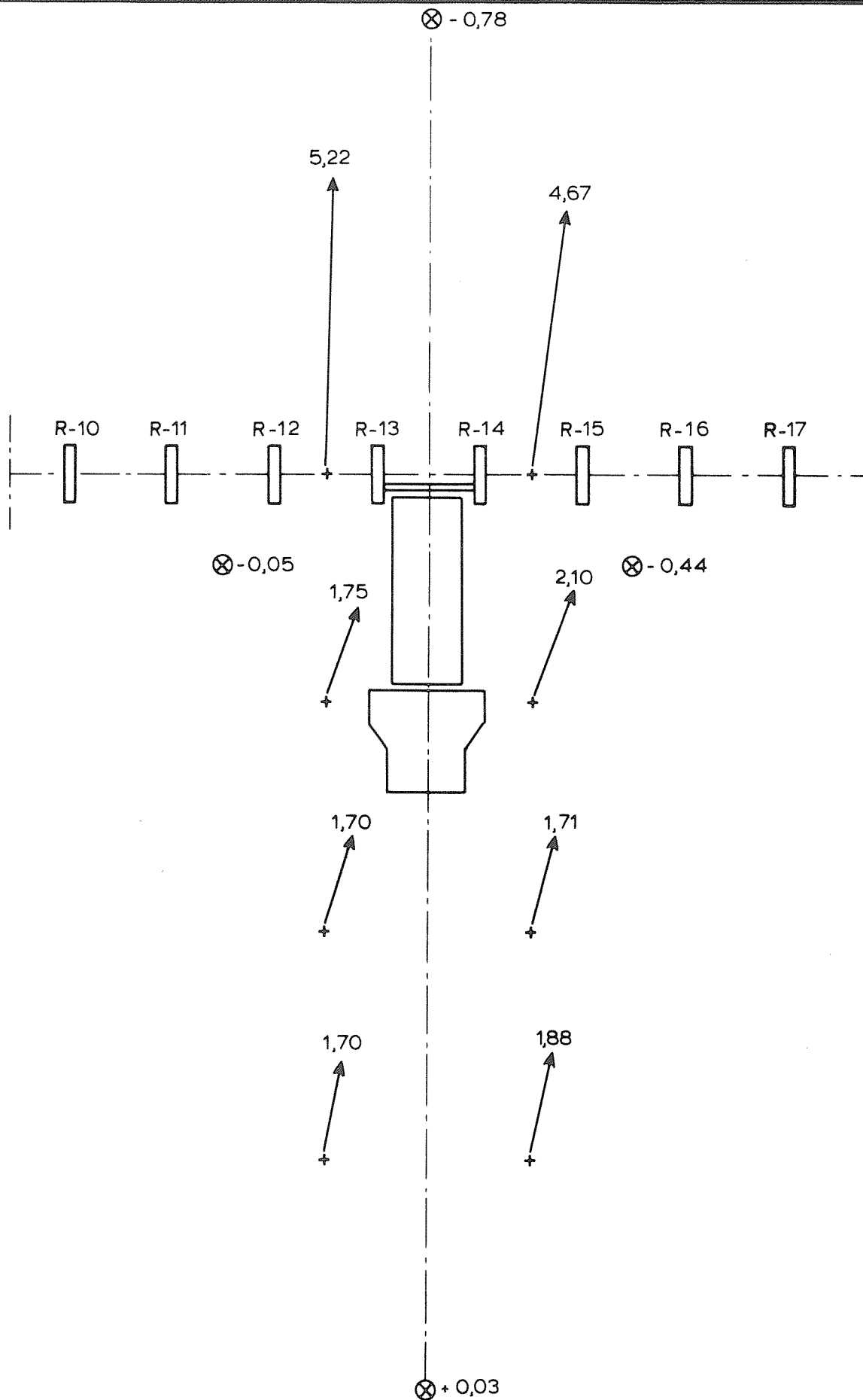
EB

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 14



WATERBEWEGING T7

T 7

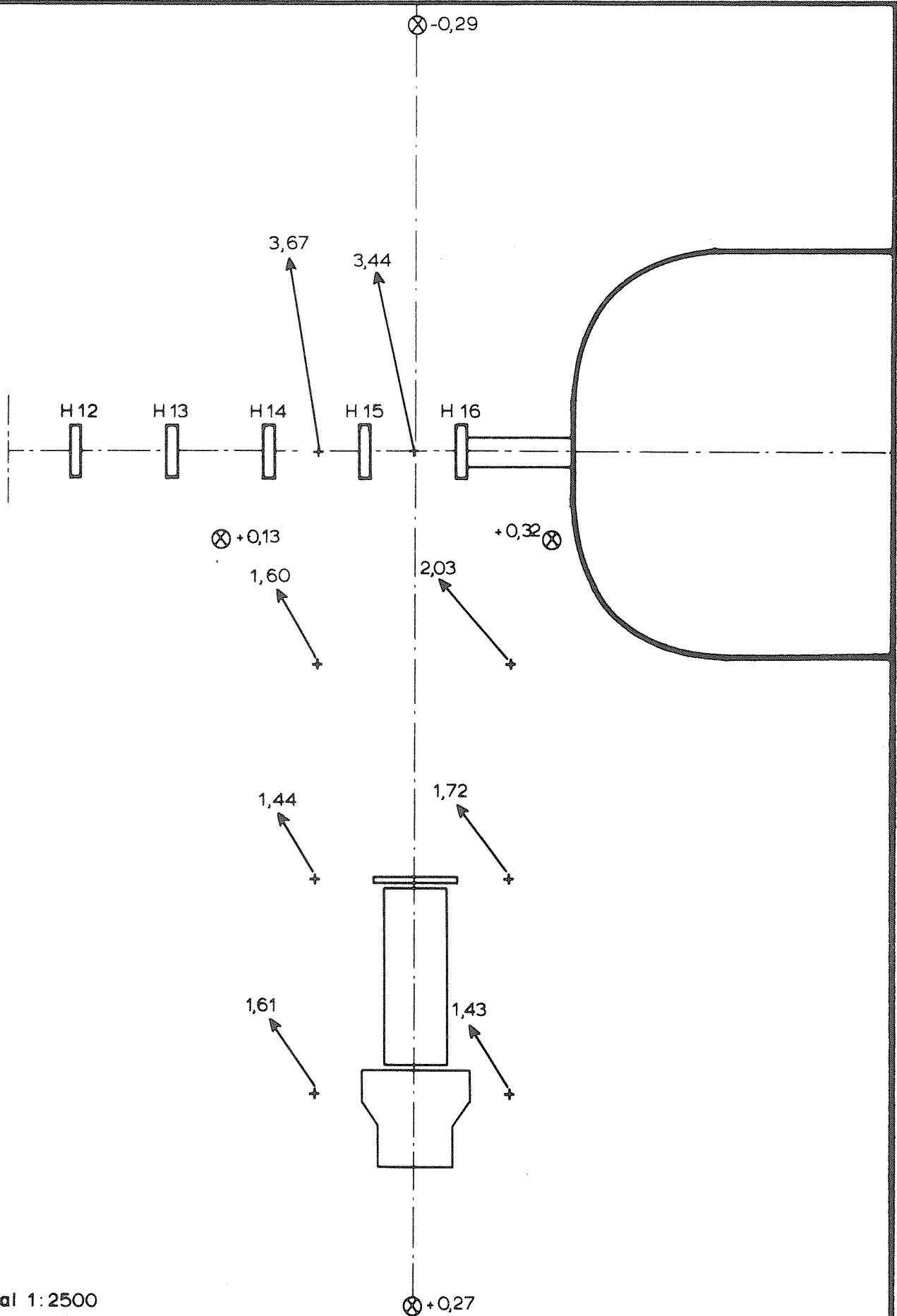
EB

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

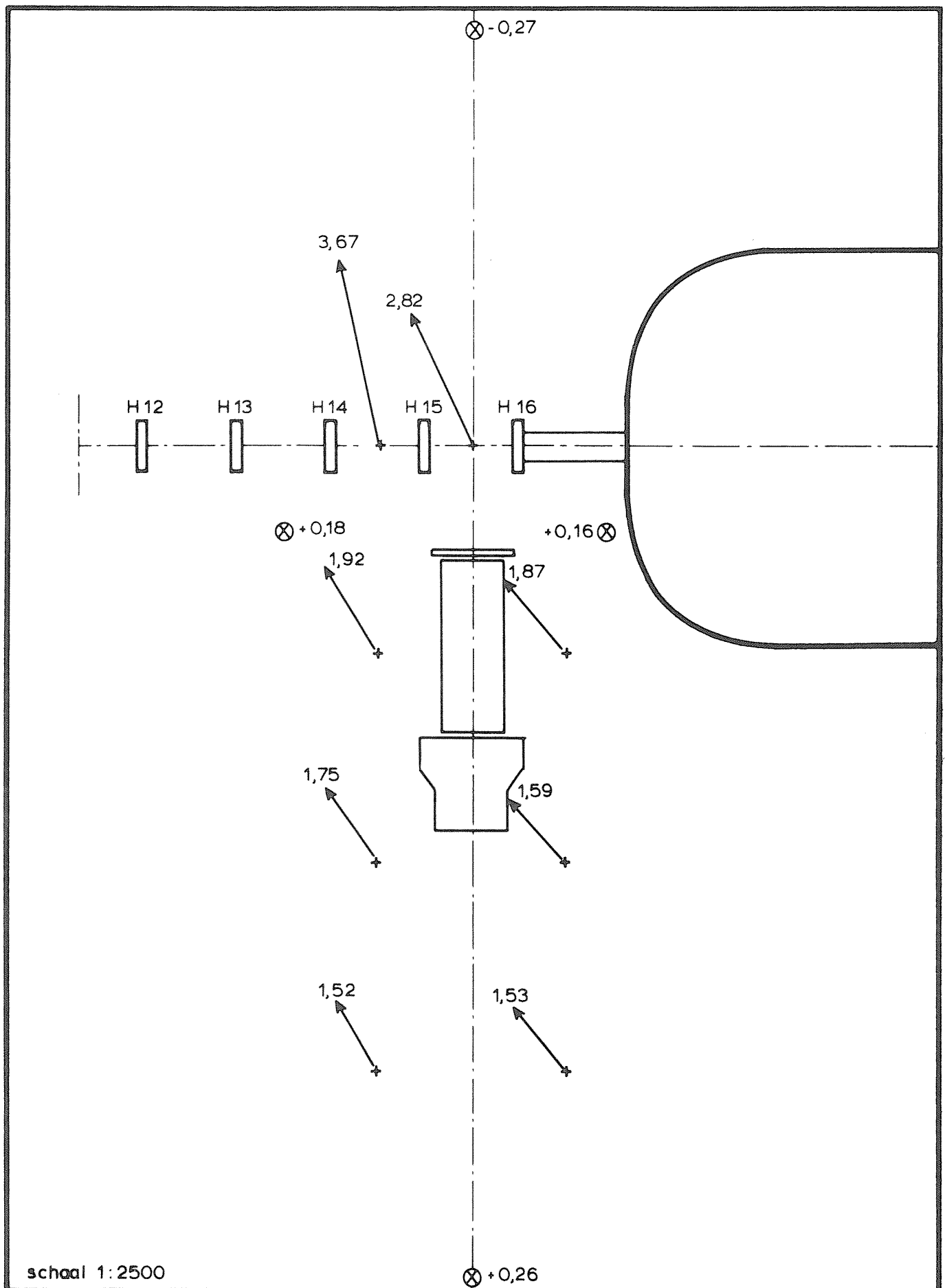
FIG. 15



schaal 1:2500

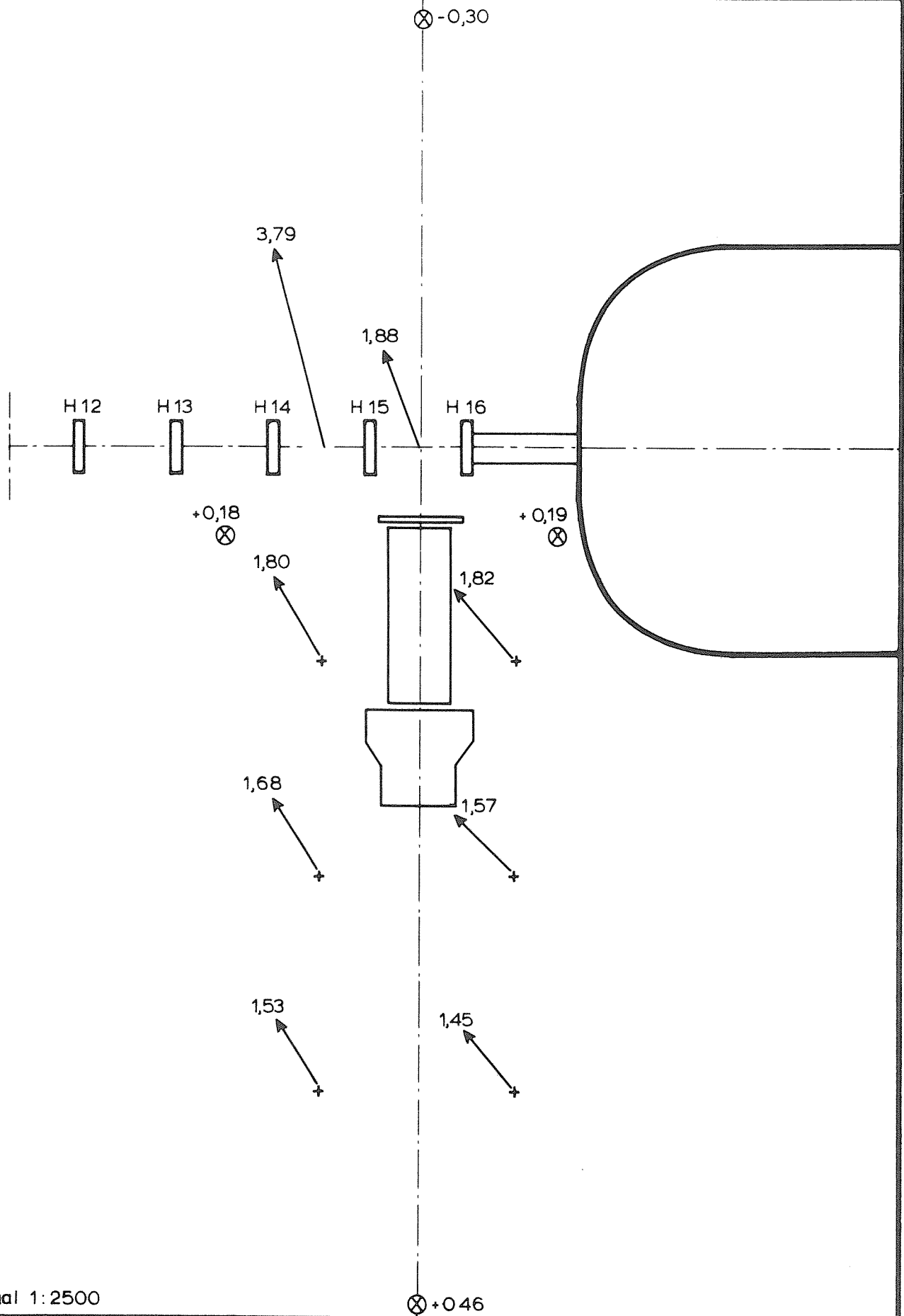
WATERBEWEGING T 9	T 9	EB
	HAMMEN	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 16





schaal 1:2500

WATERBEWEGING T 10	T 10	EB
	HAMMEN	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 17



schaal 1:2500

WATERBEWEGING T 11

T 11

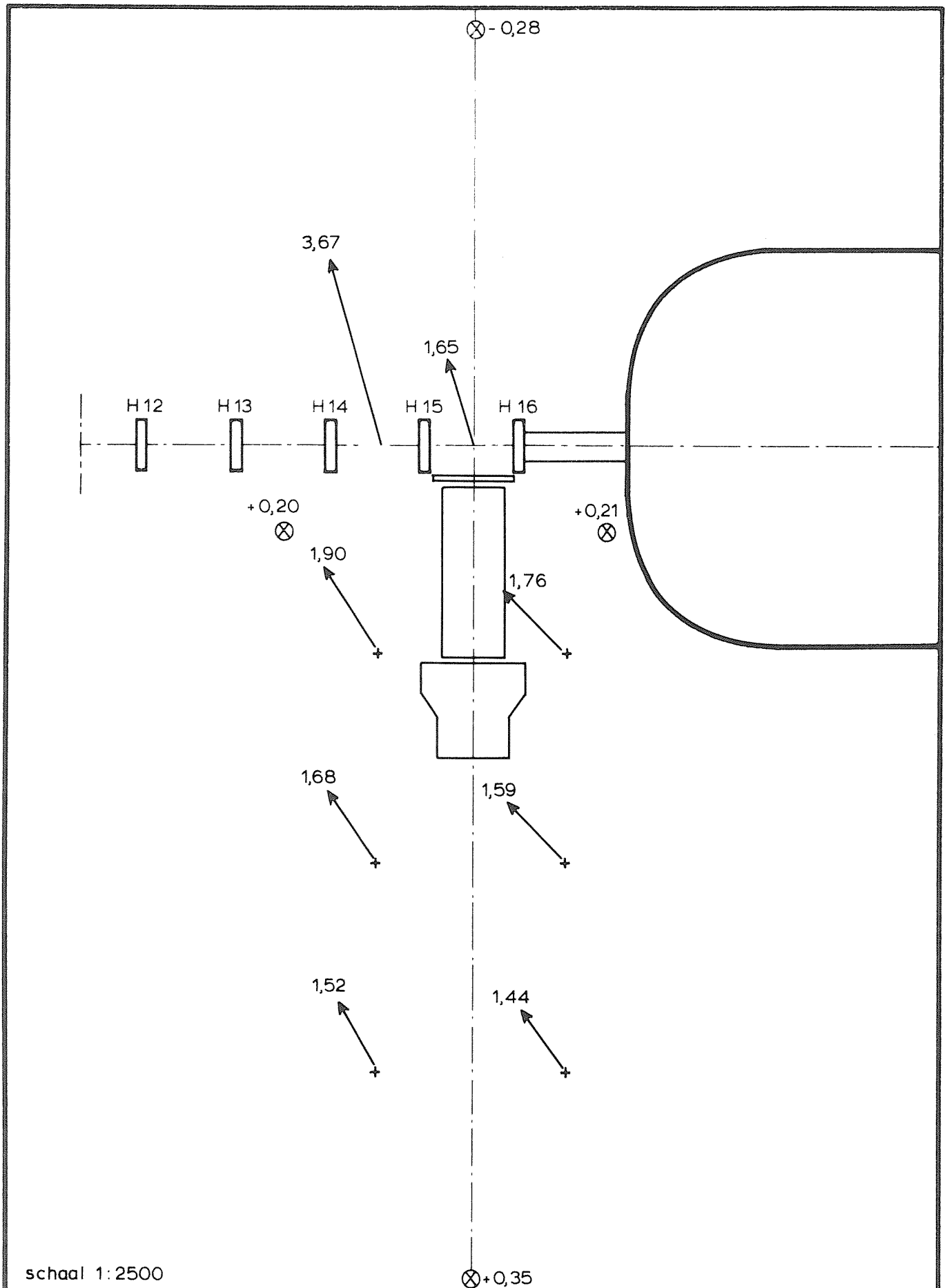
EB

HAMMEN

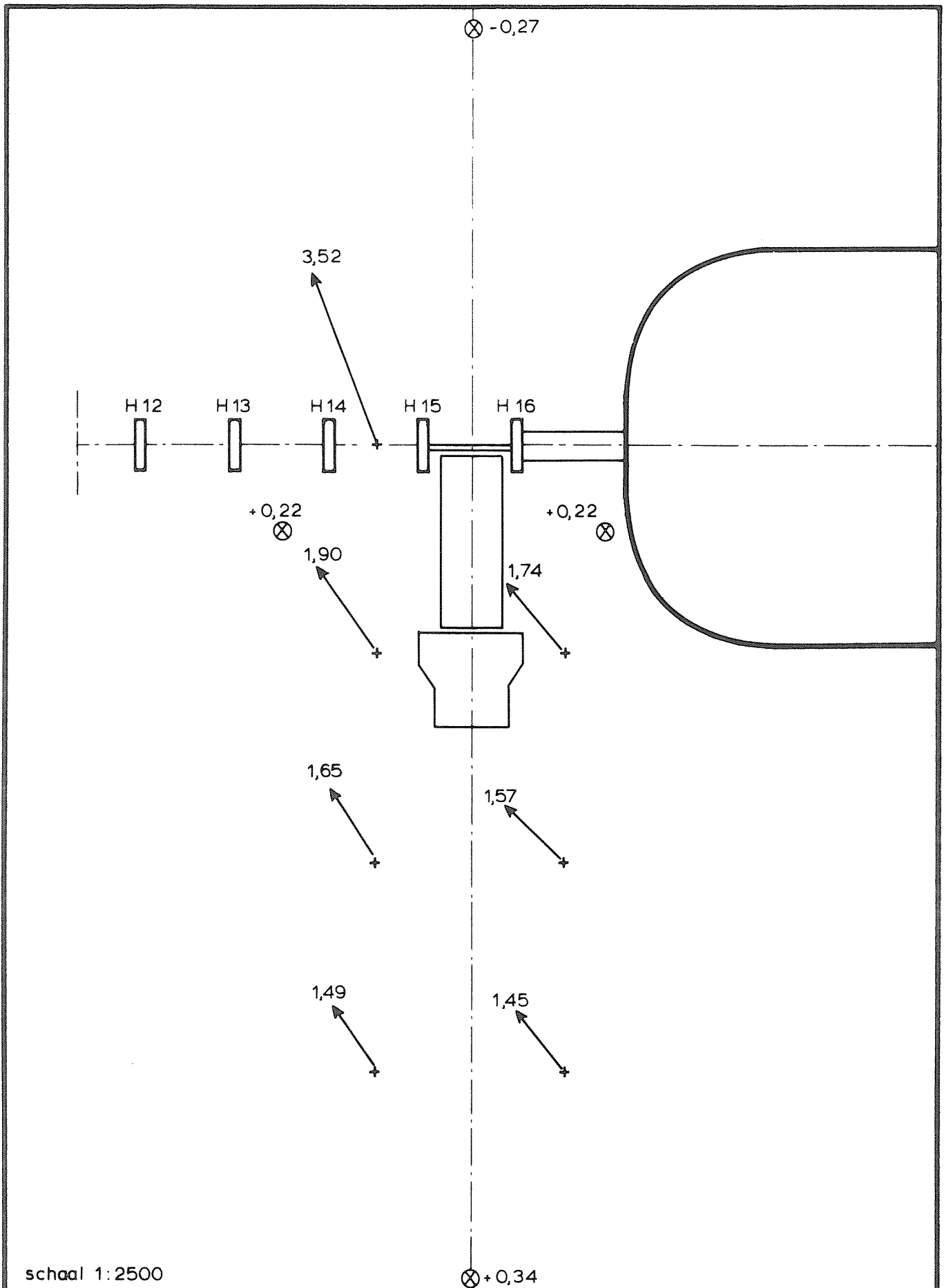
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 18

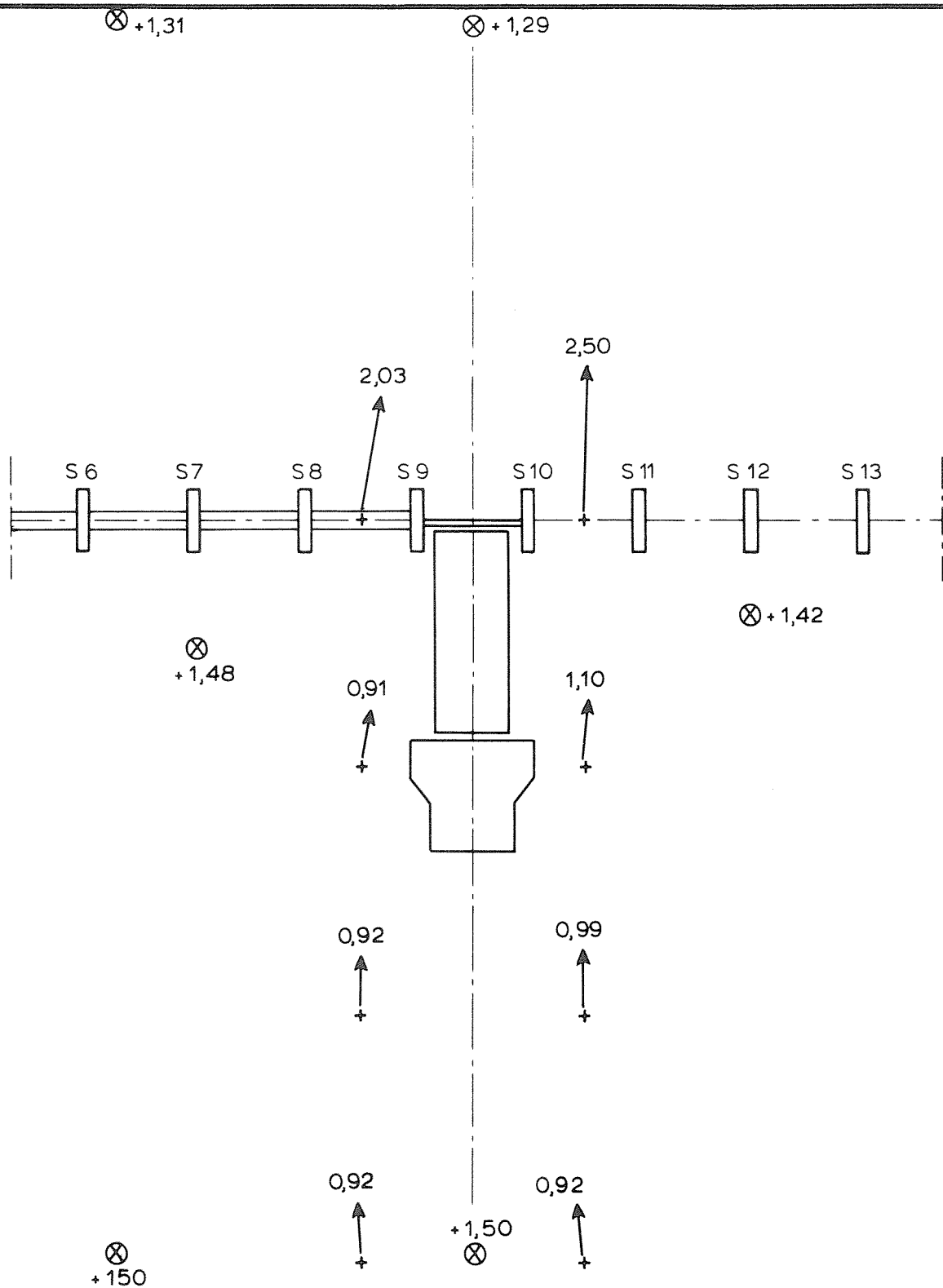


WATERBEWEGING T 12	T 12	EB
	HAMMEN	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 19



schaal 1:2500

WATERBEWEGING T13	T 13	EB
	HAMMEN	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 20



WATERBEWEGING T 14.1

T 14.1

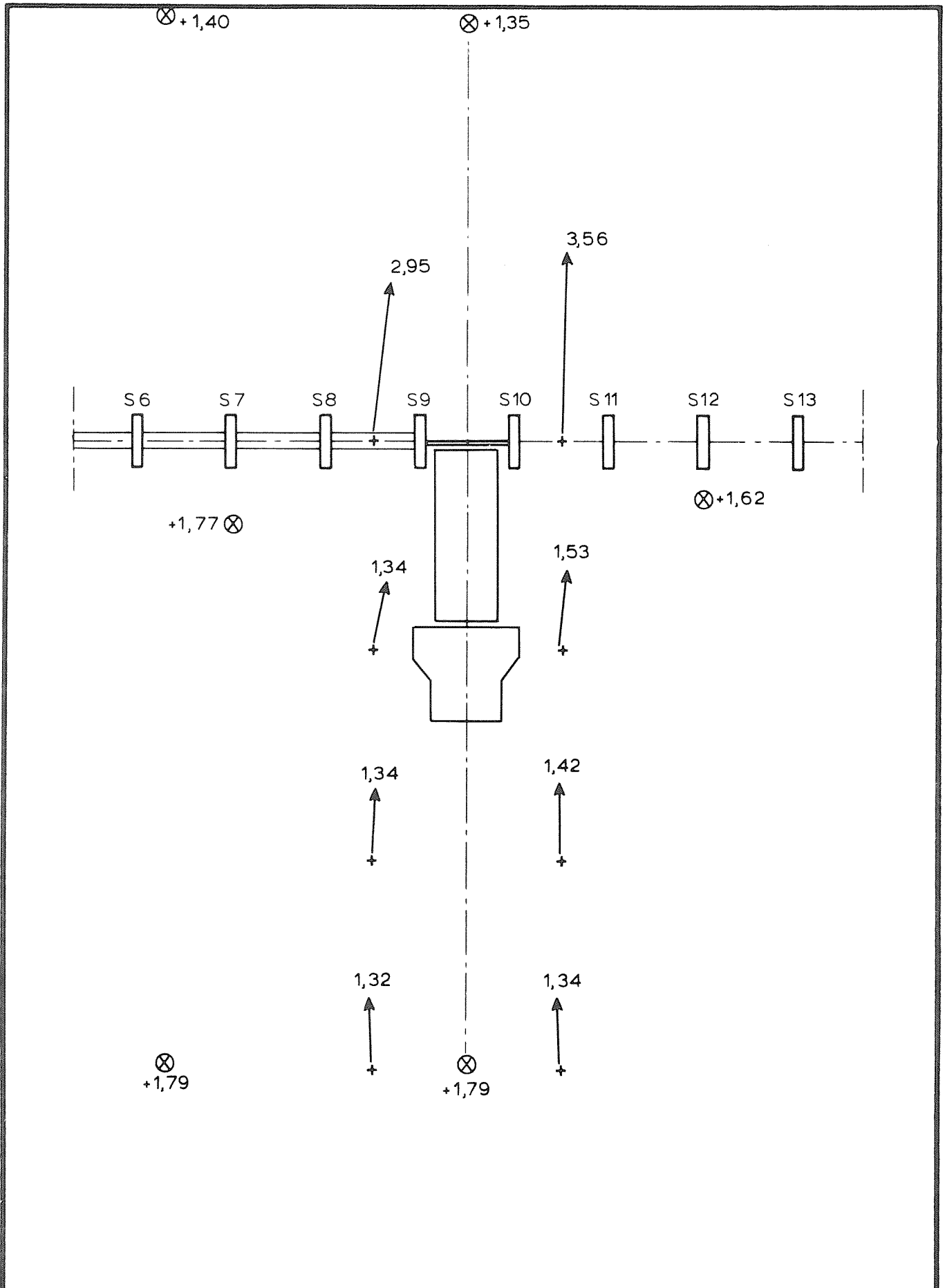
EB

SCHAAR

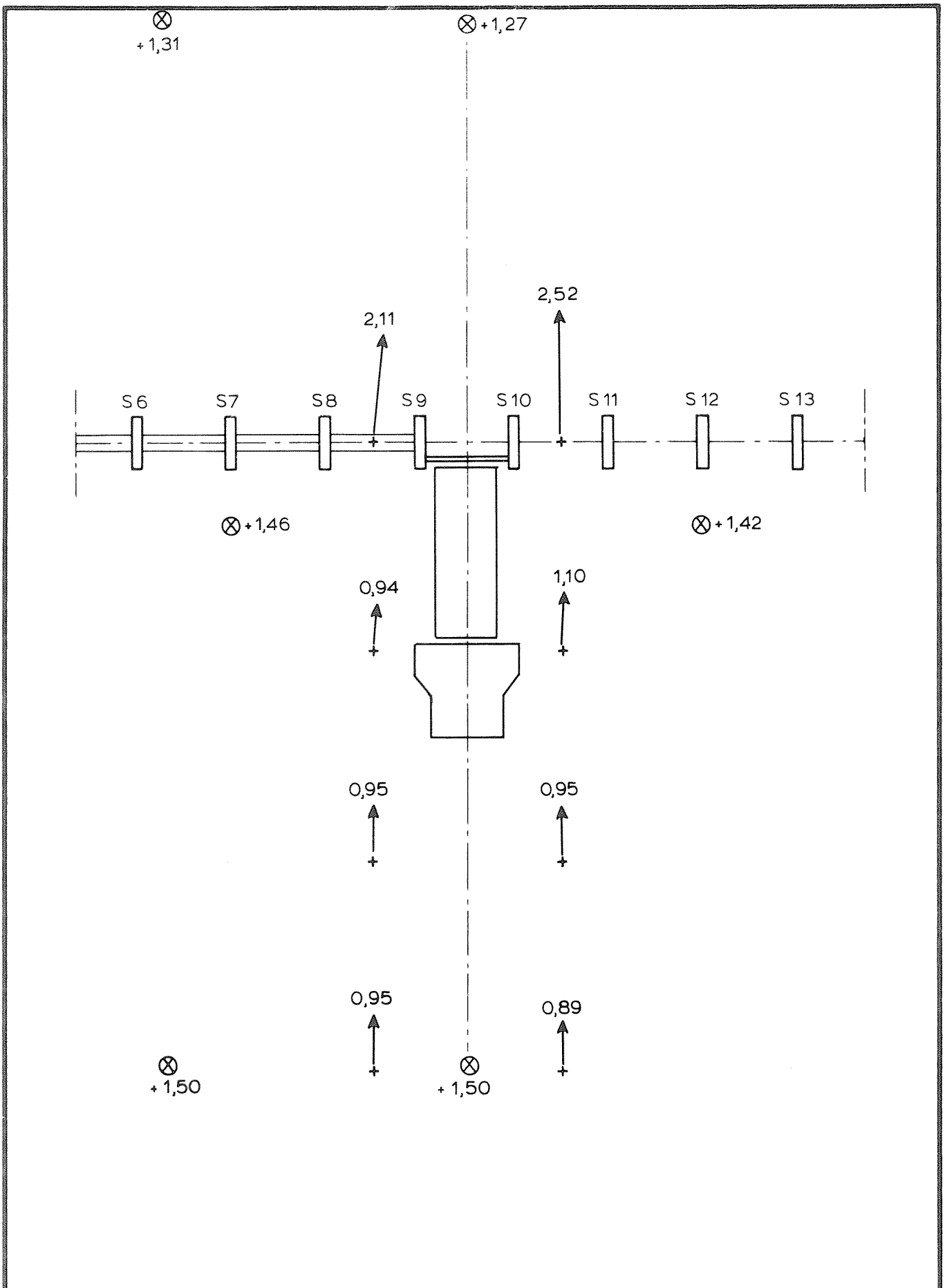
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

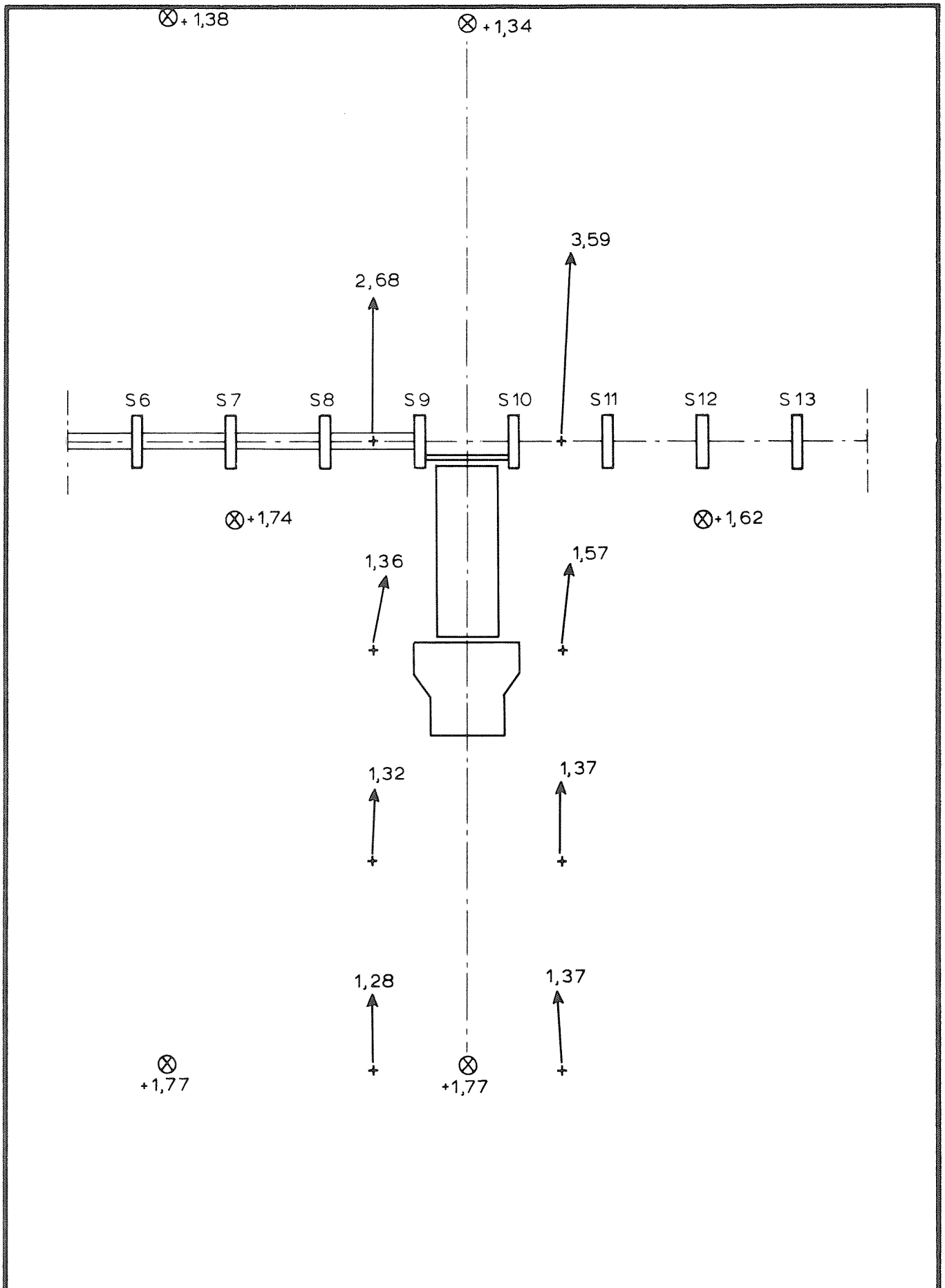
FIG. 21



WATERBEWEGING T 14.2	T14.2	EB
	SCHAAR	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 22

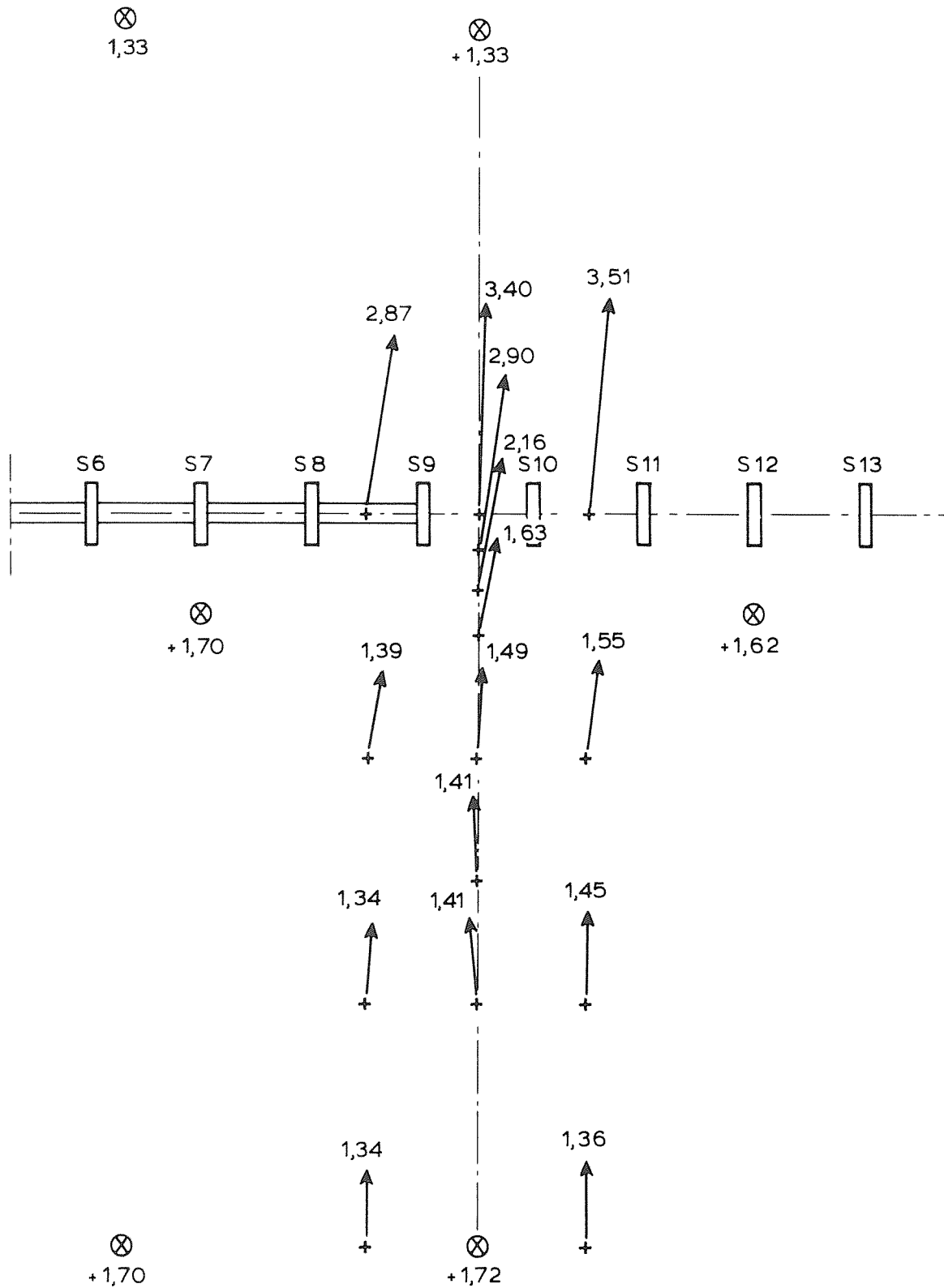


WATERBEWEGING T 15,1	T15.1	EB
	SCHAAR	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 23



WATERBEWEGING T 15,2	T 15.2	EB
	SCHAAR	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2131	FIG. 24





WATERBEWEGING T 16

T 16

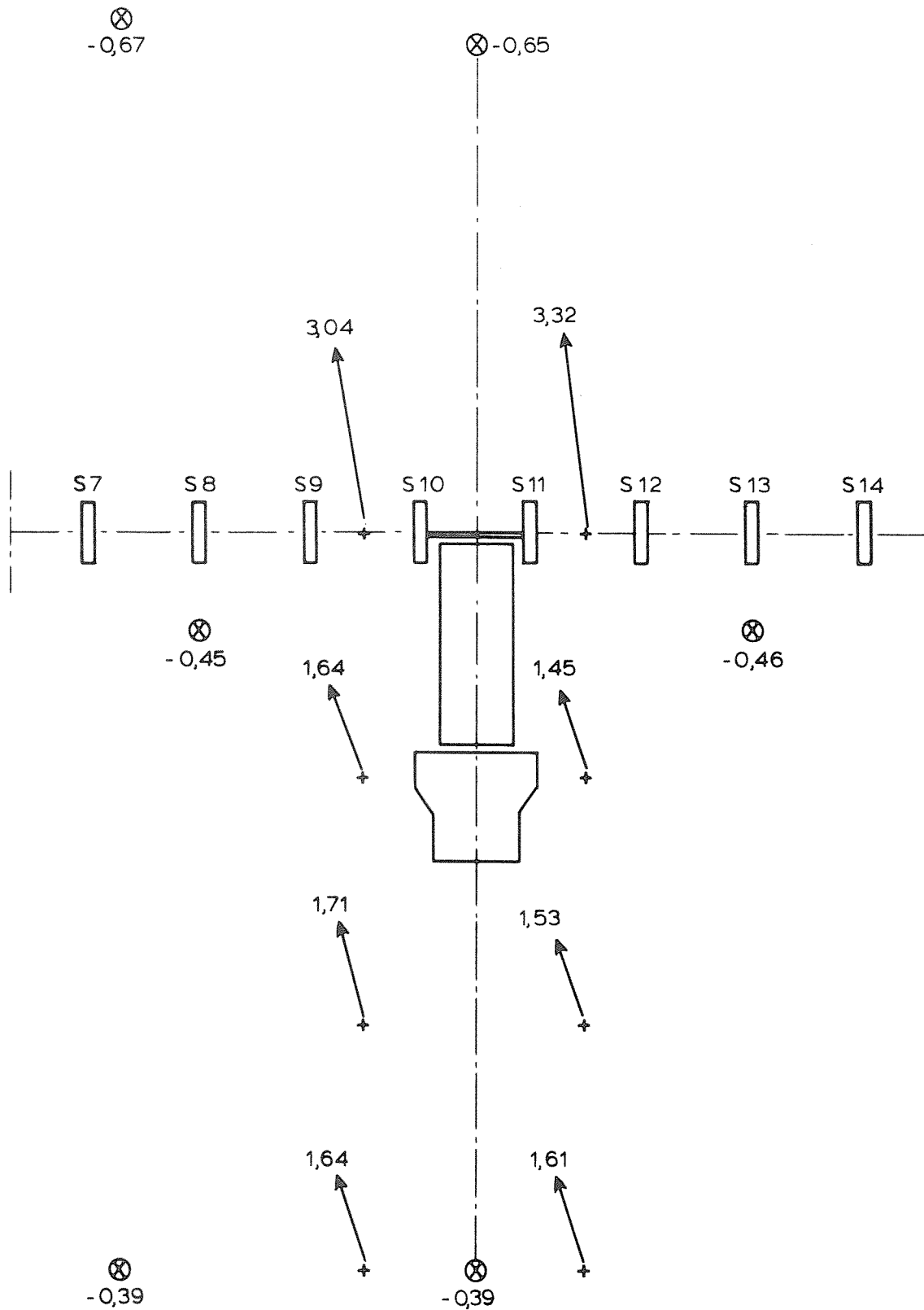
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 25



WATERBEWEGING T 17.1

T.17.1

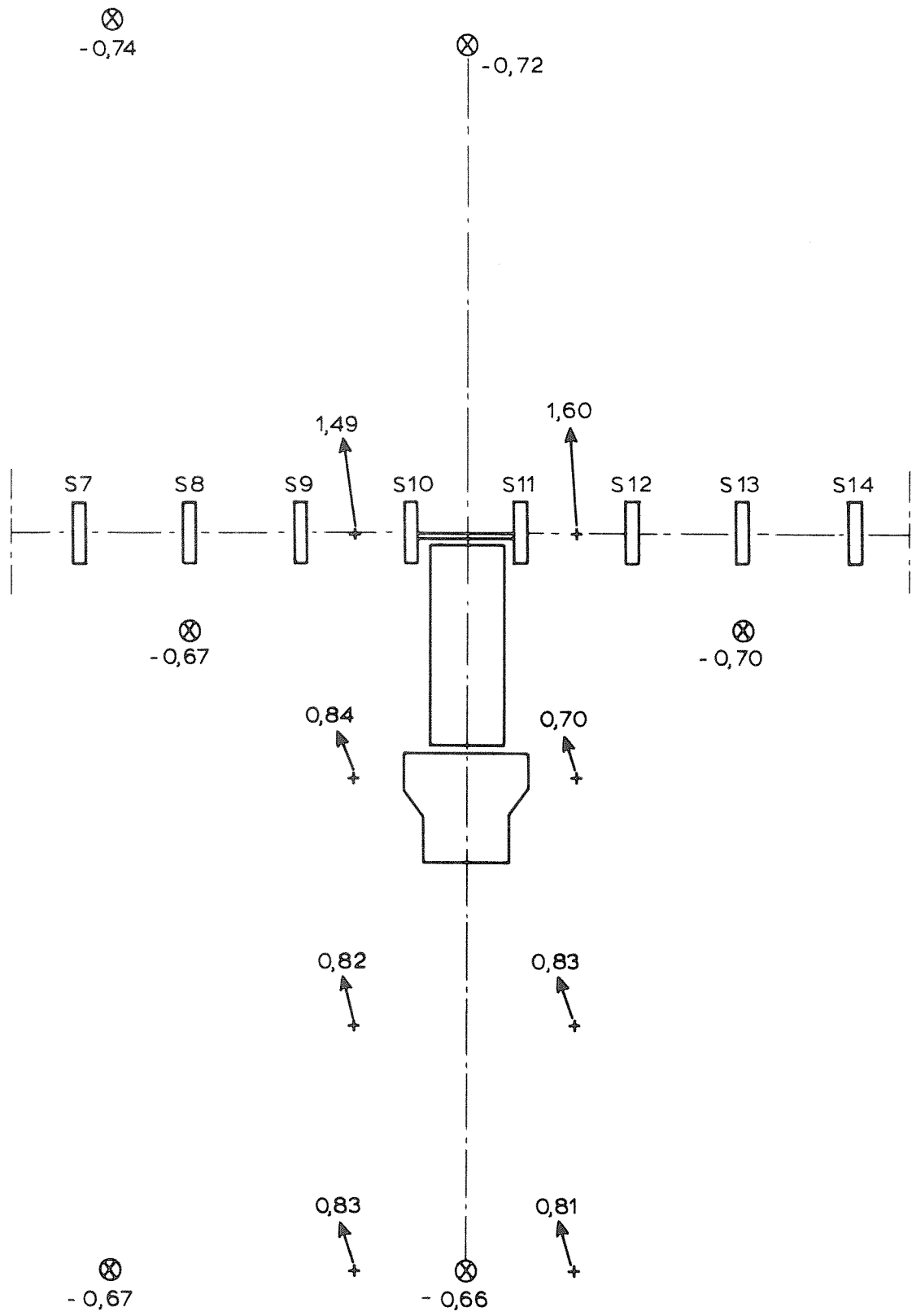
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 26



WATERBEWEGING T 17.2

T17.2

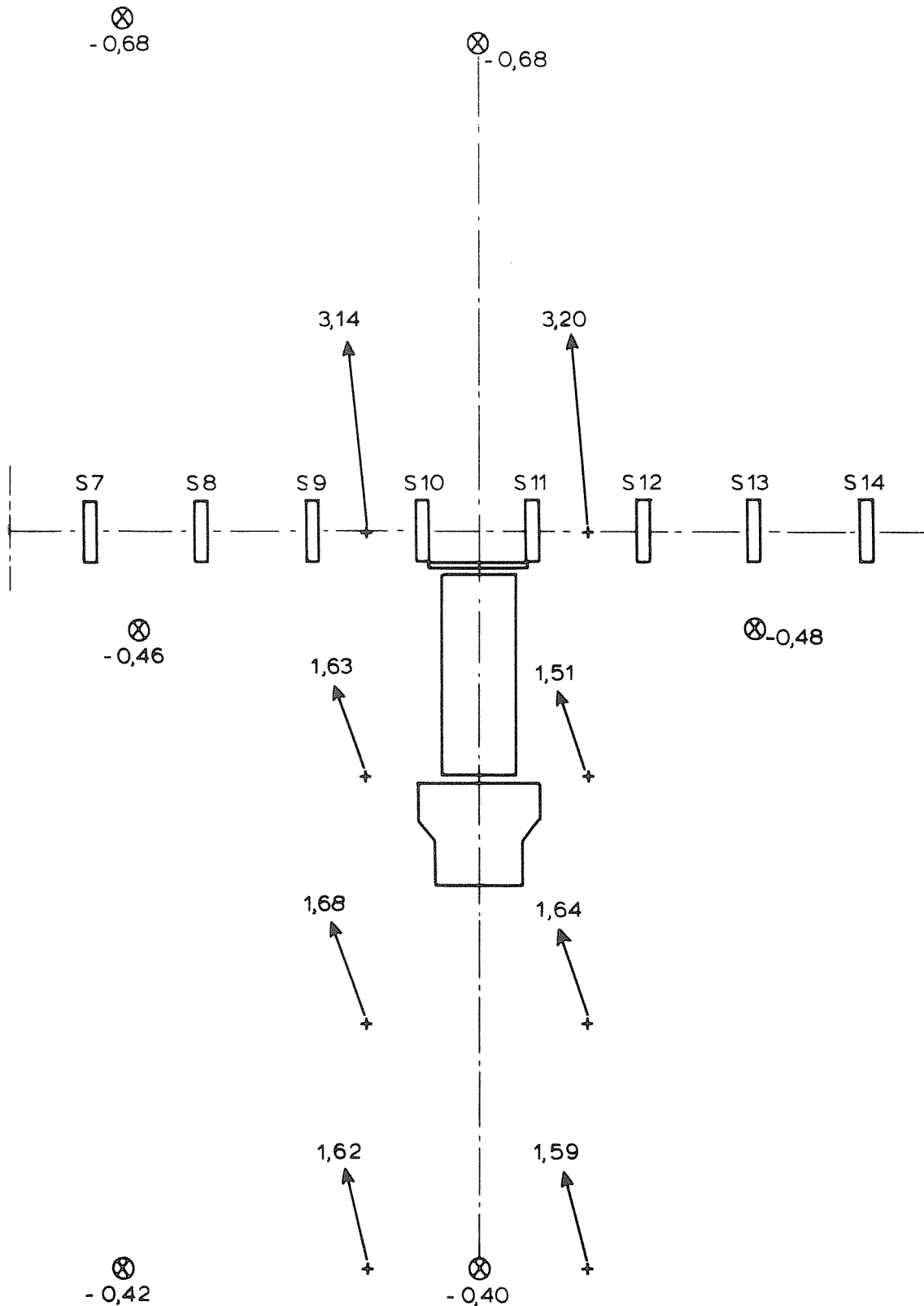
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 27



WATERBEWEGING T 18.1

T 18.1

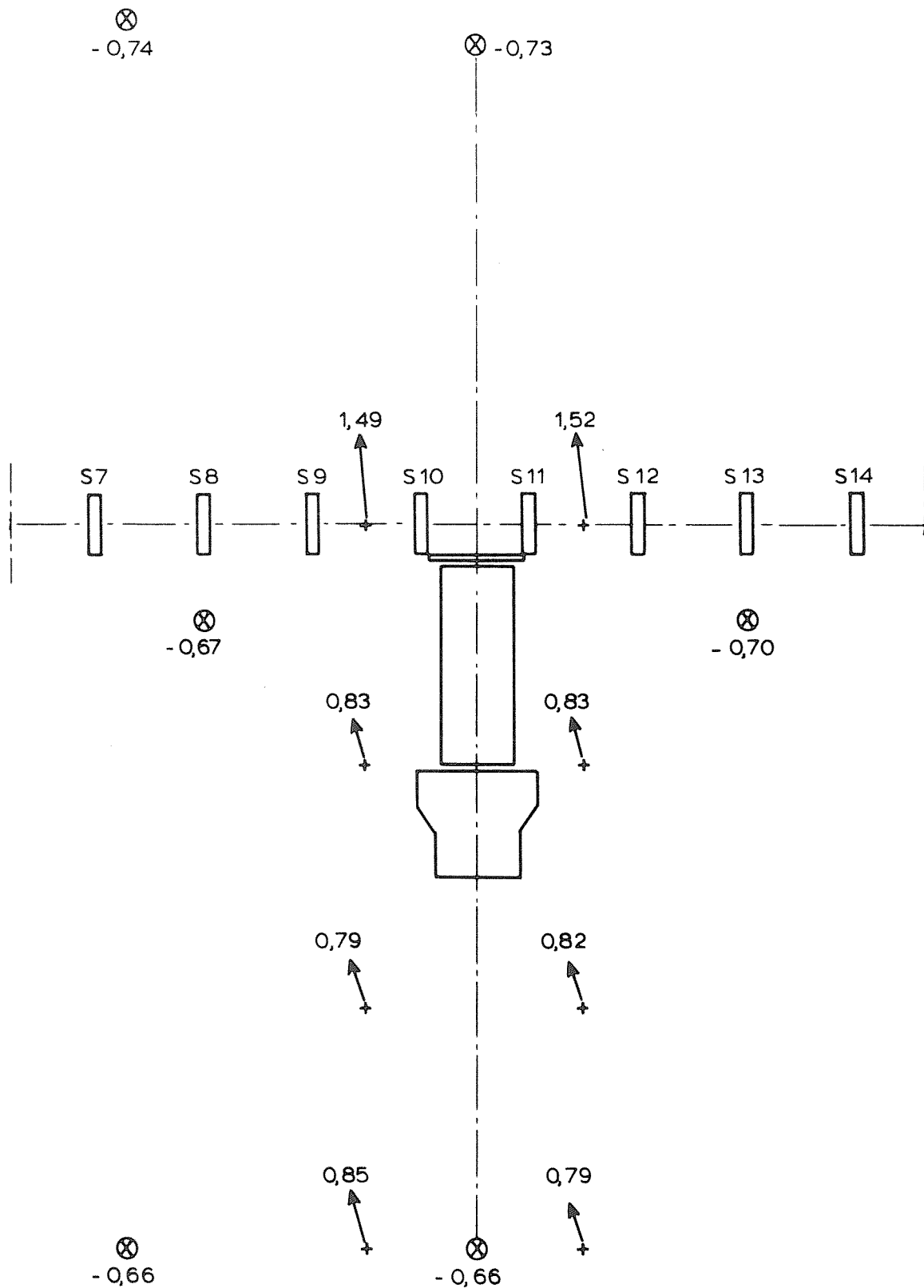
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 28



WATERBEWEGING T 18.2

T 18.2

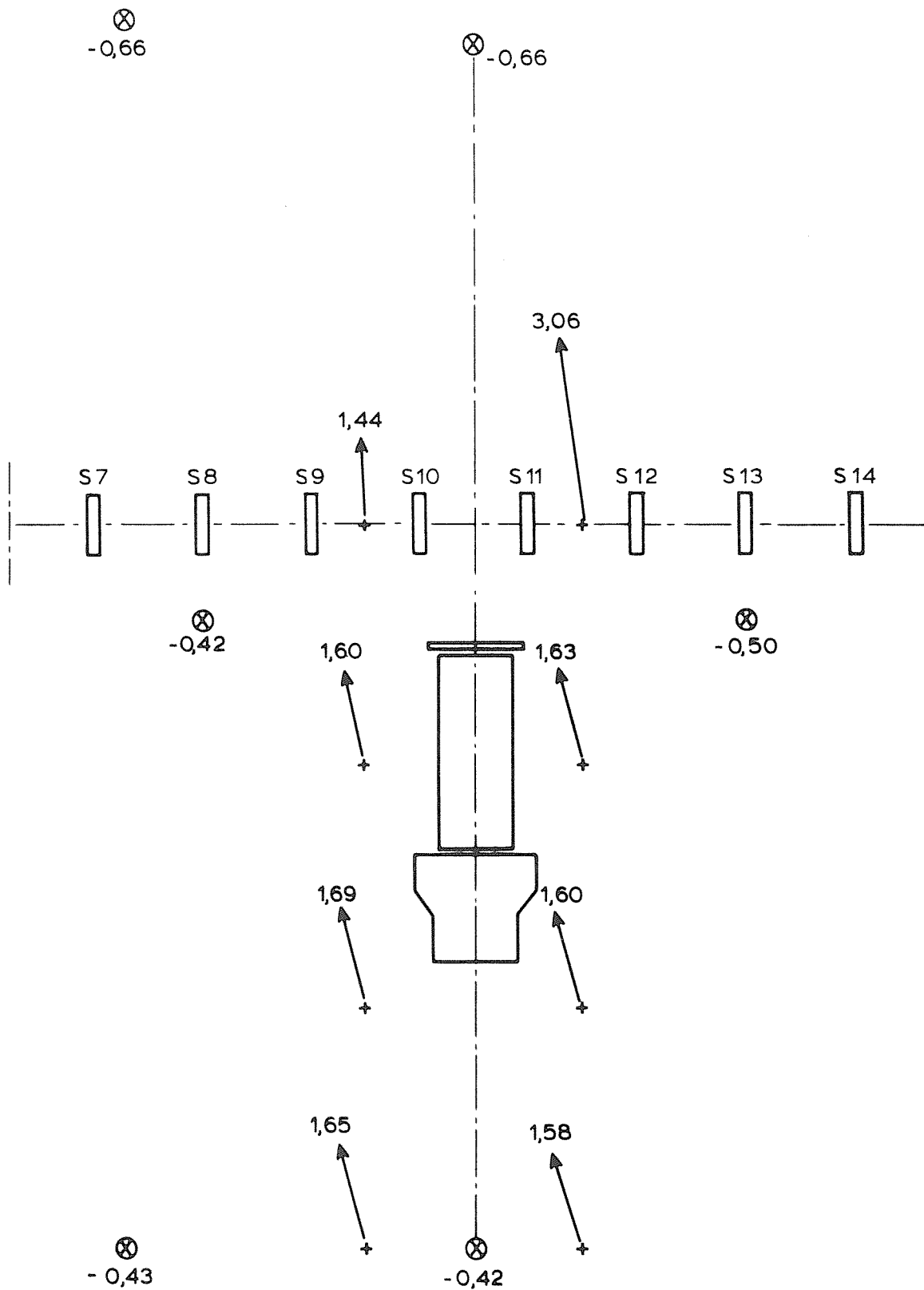
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 29



WATERBEWEGING T 19.1

T 19.1

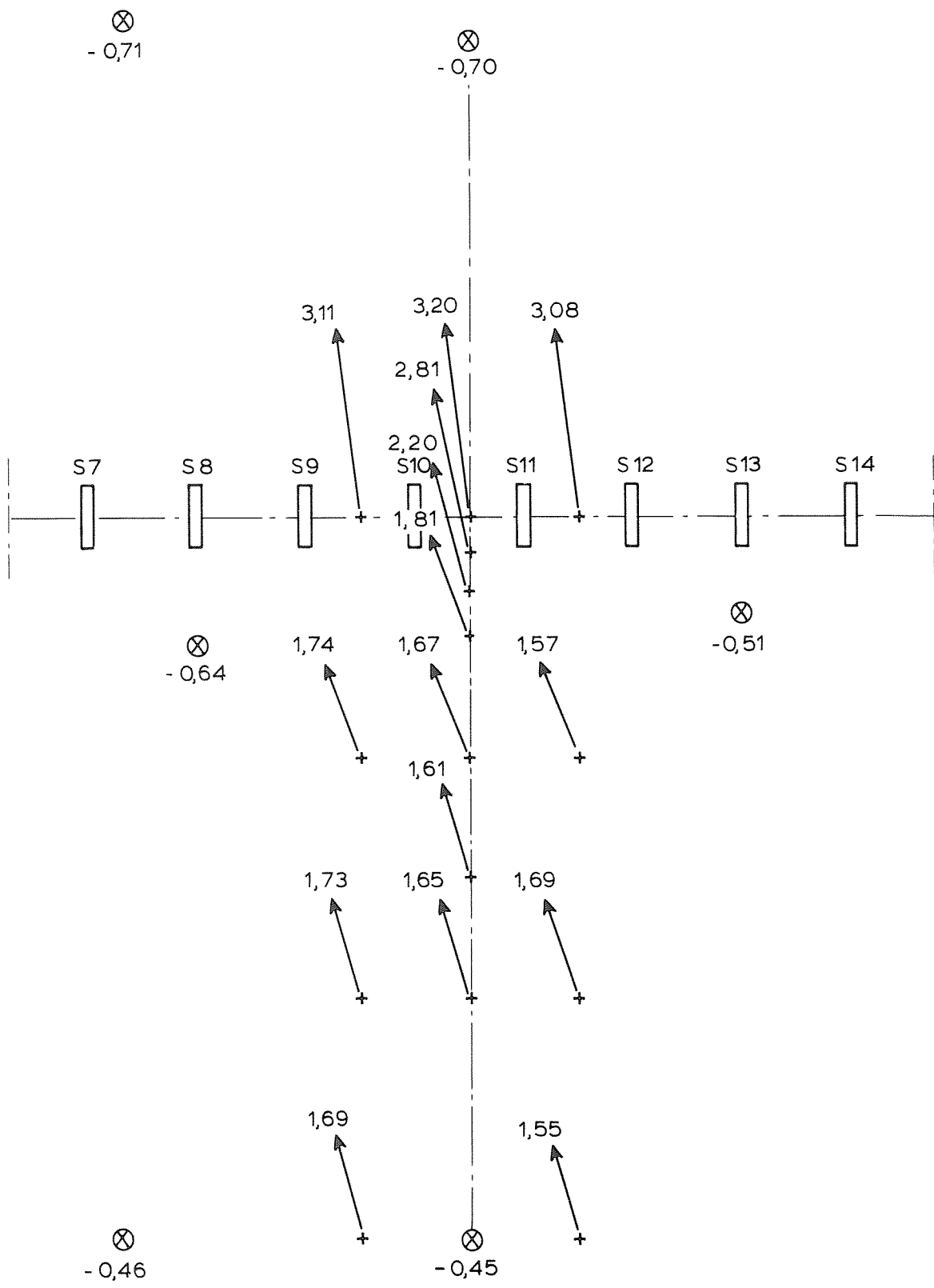
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 30



WATERBEWEGING T 20

T 20

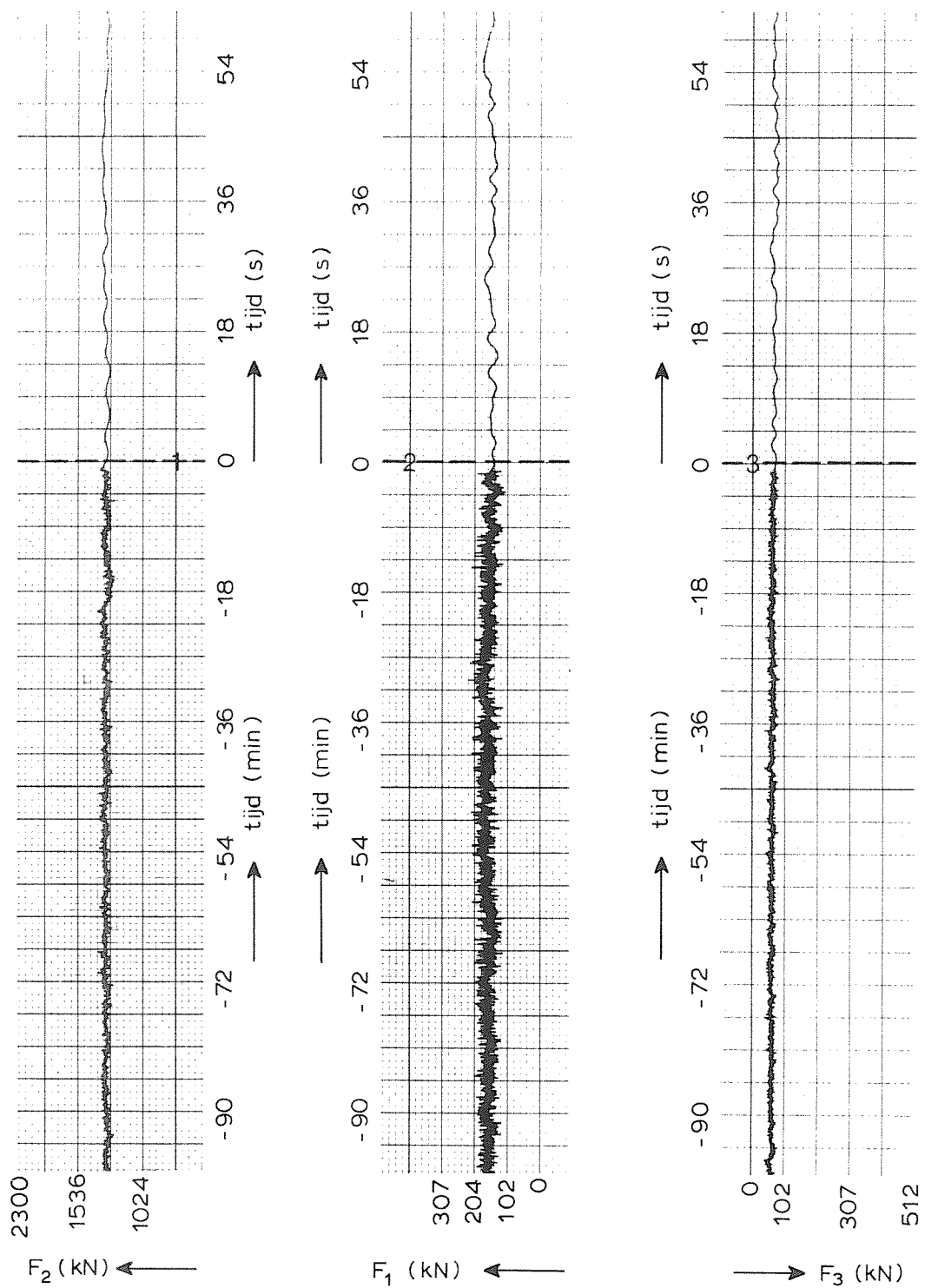
EB

SCHAAR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 32



VOORBEELD REGISTRATIE KRACHTEN

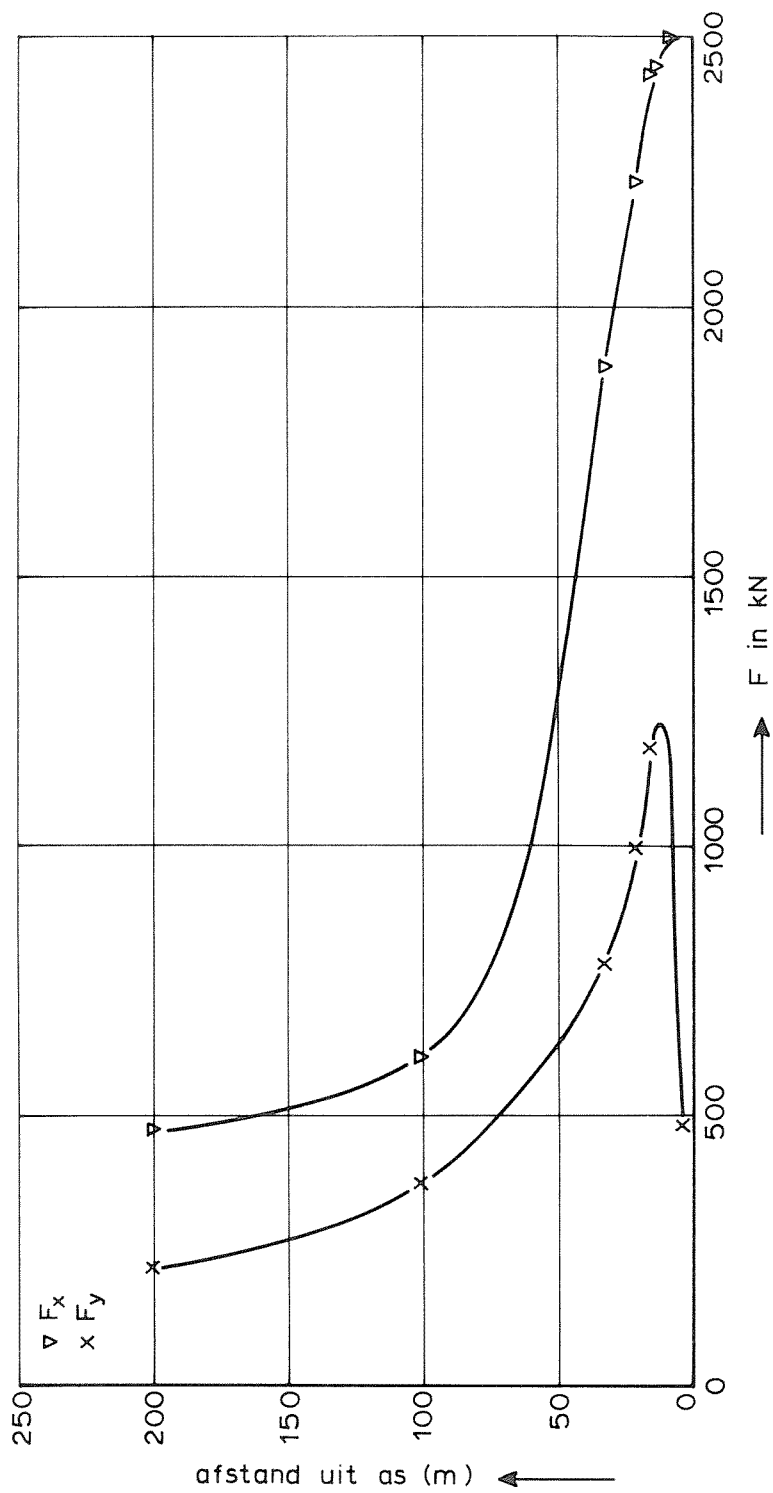
T18.1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 33





DE KRACHTEN  $F_x$ ,  $F_y$  ALS FUNKTIE VAN DE AFSTAND  
 MAC-TAK TOT DE AS VAN DE STORMVLOEDKERING

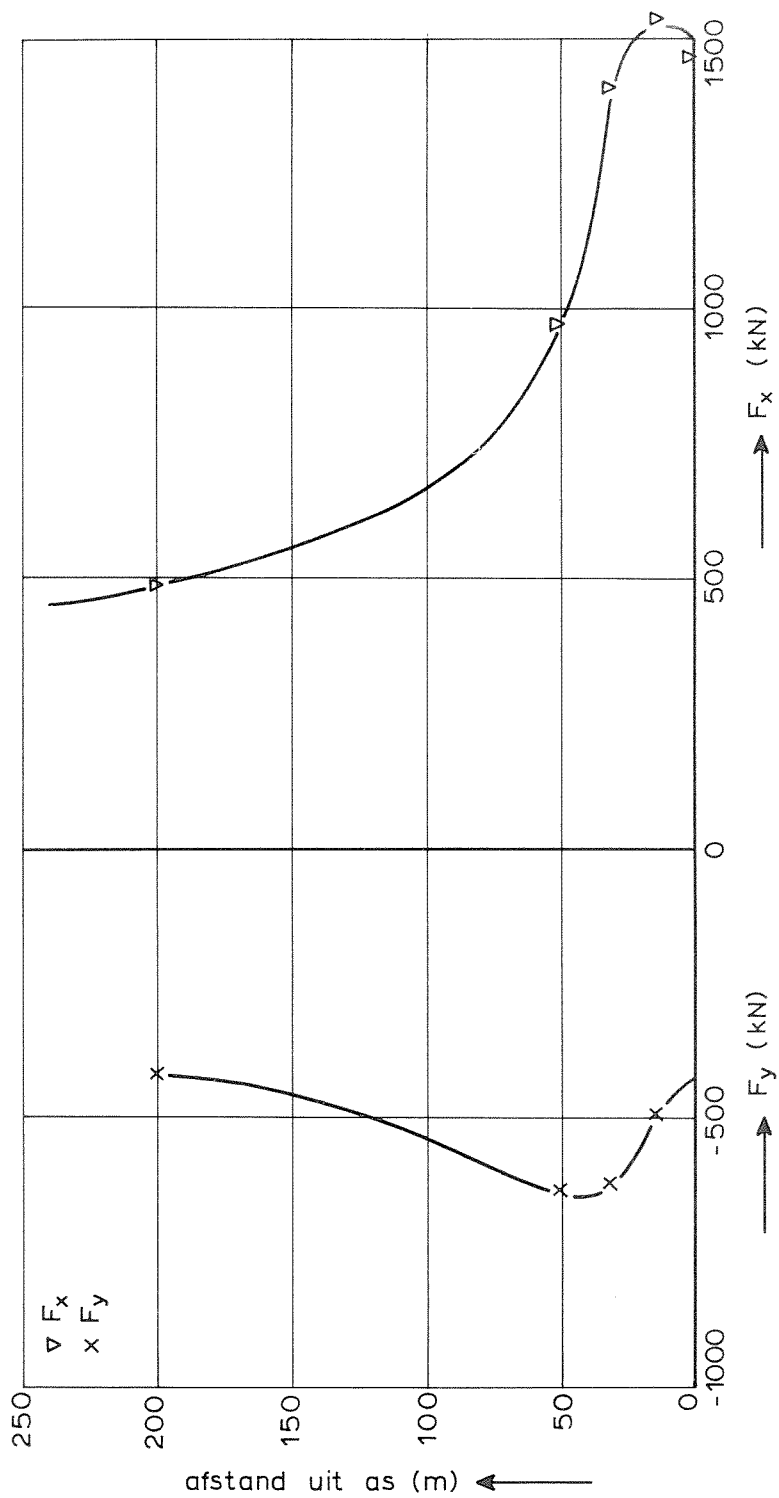
T2 .... T7

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 34



DE KRACHTEN  $F_x$ ,  $F_y$  ALS FUNKTIE VAN DE AFSTAND  
 MAC-TAK TOT DE AS VAN DE STORMVLOEDKERING

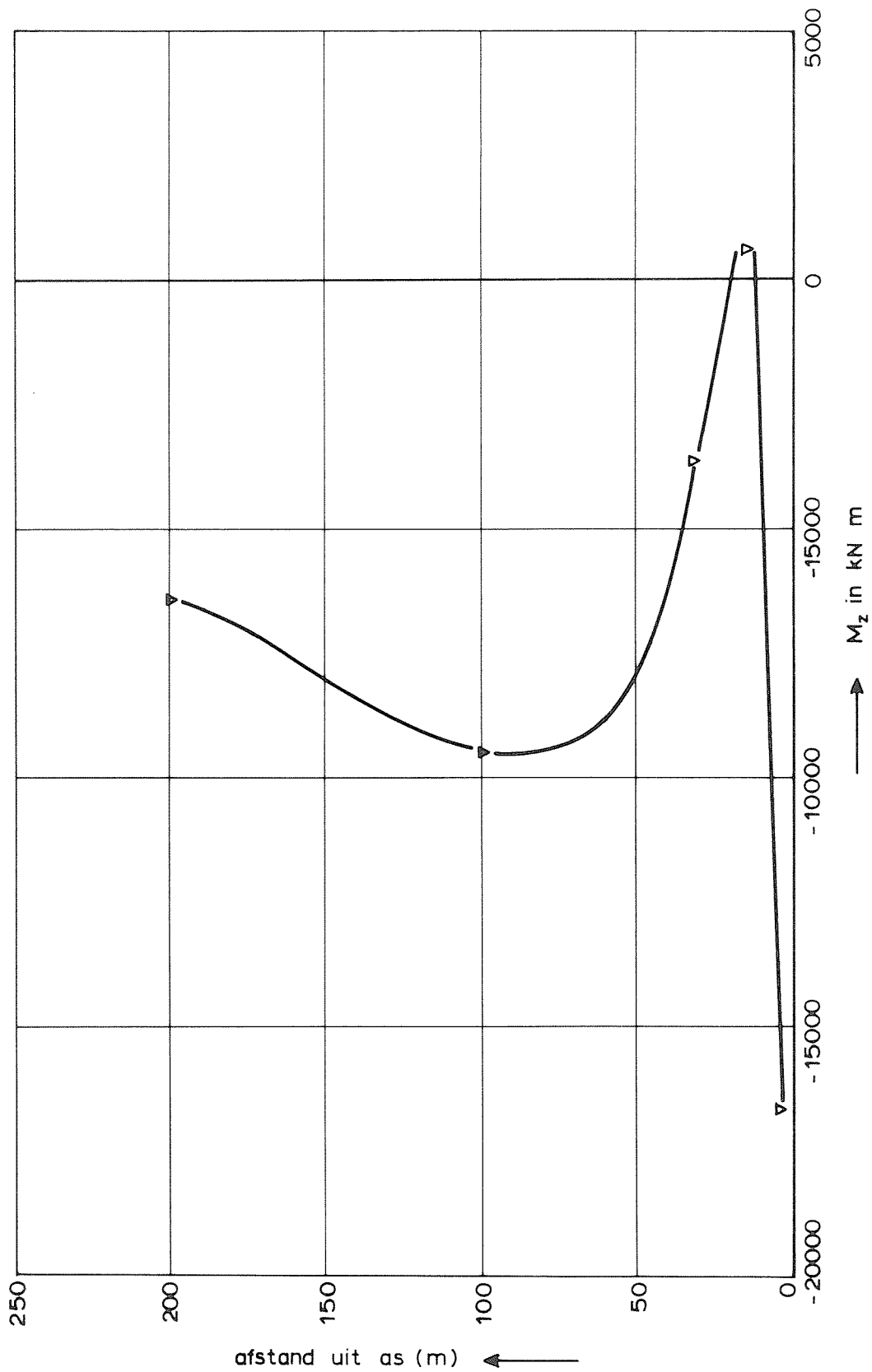
T9.....T13

HAMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG 35



HET MOMENT  $M_z$  ALS FUNKTIE VAN DE AFSTAND  
 MAC-TAK TOT DE AS VAN DE STORMVLOEDKERING

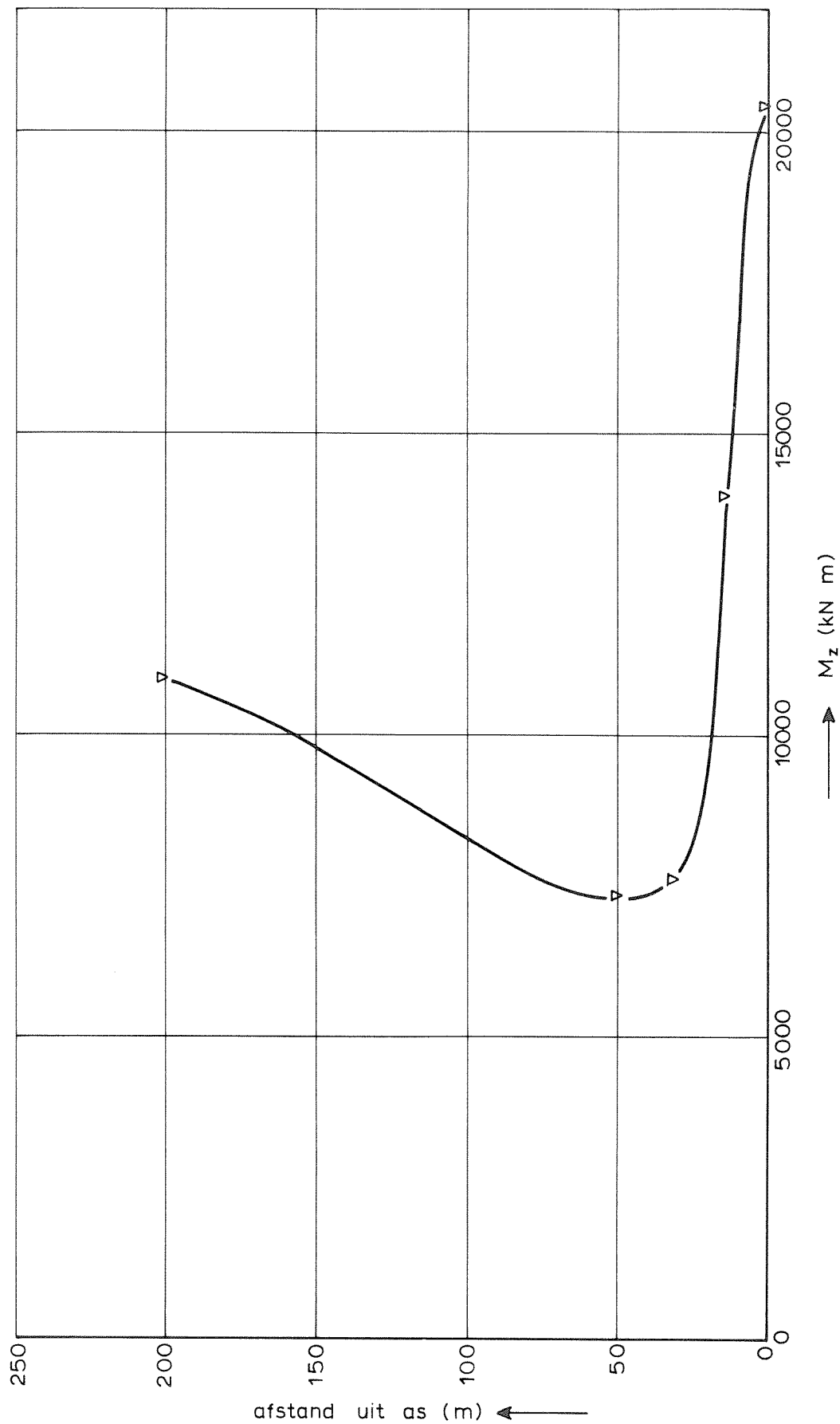
T2 ..... T7

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG. 36



HET MOMENT  $M_z$  ALS FUNKTIE VAN DE AFSTAND  
 MAC-TAK TOT DE AS VAN DE STORMVLOEDKERING

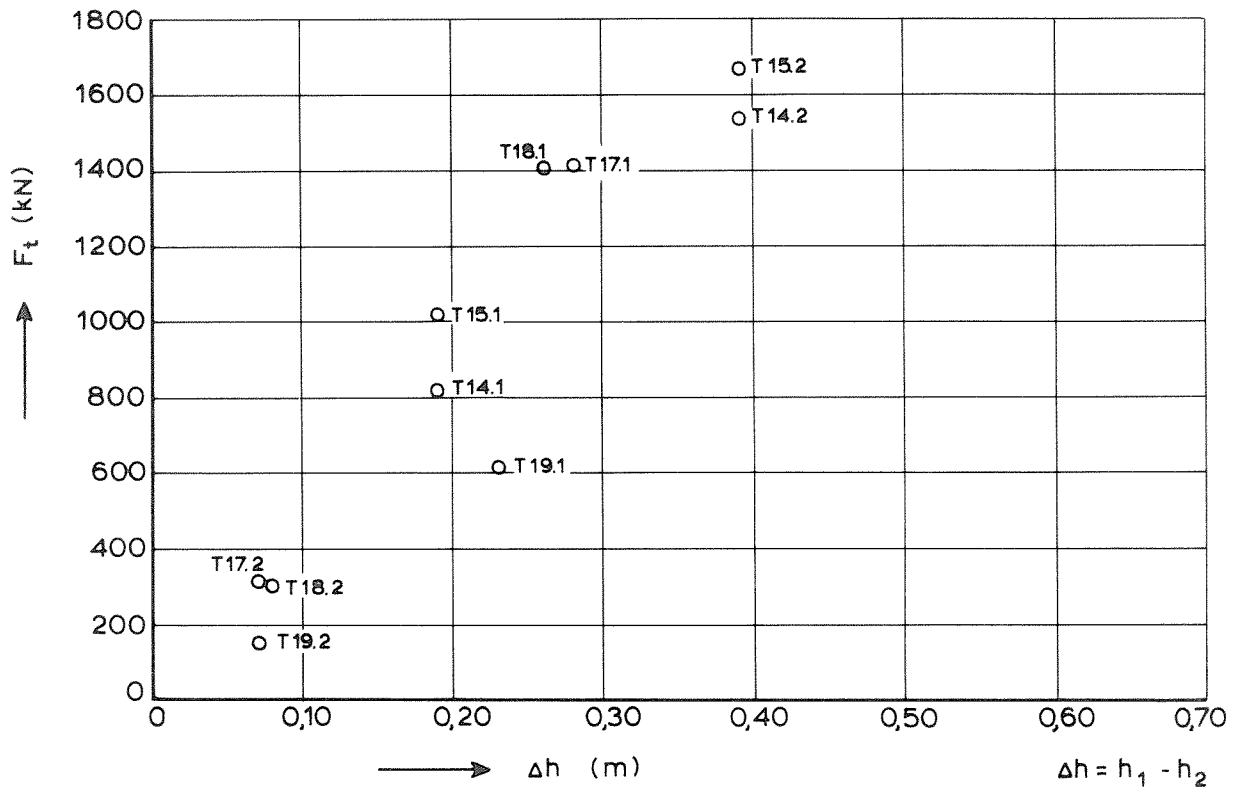
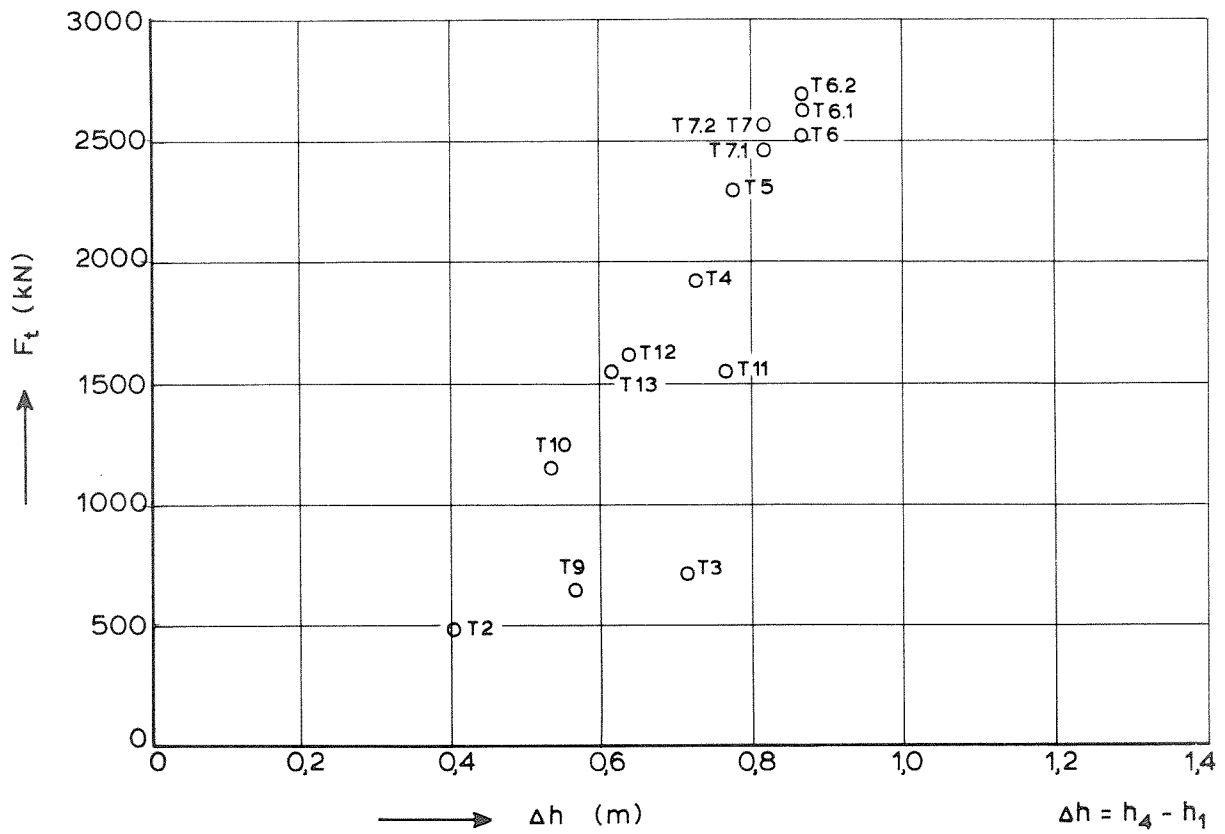
T9.....T13

HAMMEN

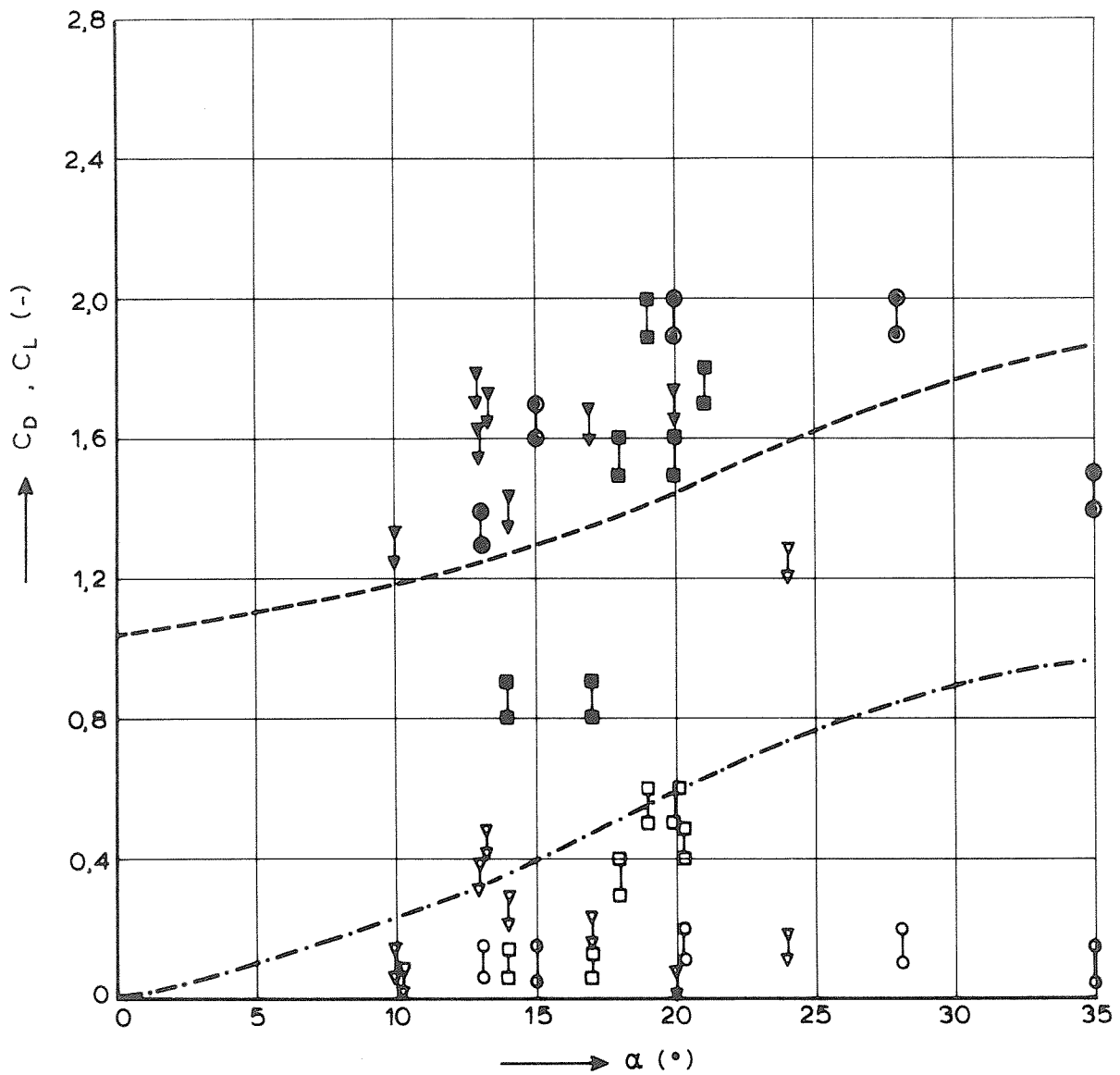
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

FIG 37



DE TOTALE KRACHT ALS FUNKTIE VAN HET VERVAL



	$C_D$	$C_L$	$L_s / B_s$
Roompot	▼	▽	Mac - Tak 2,9
Hammen	●	○	caisson 3
Schaar	■	□	
caisson	---	-.-.-	

DE COEFFICIËNTEN  $C_D, C_L$  ALS FUNKTIE VAN  $\alpha$

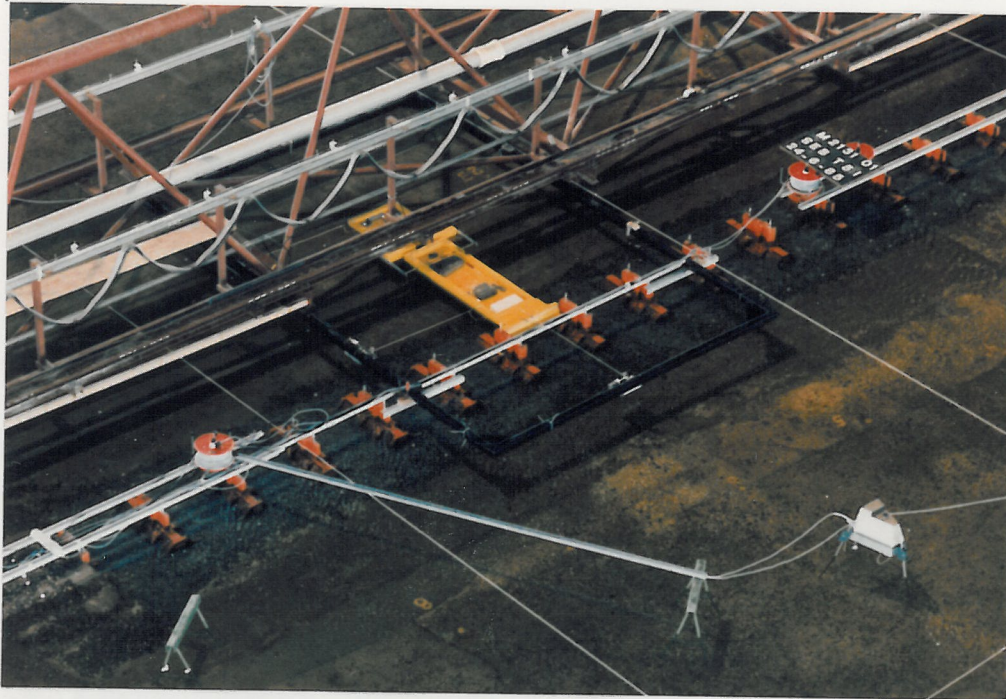


foto 1 Meetopstelling.

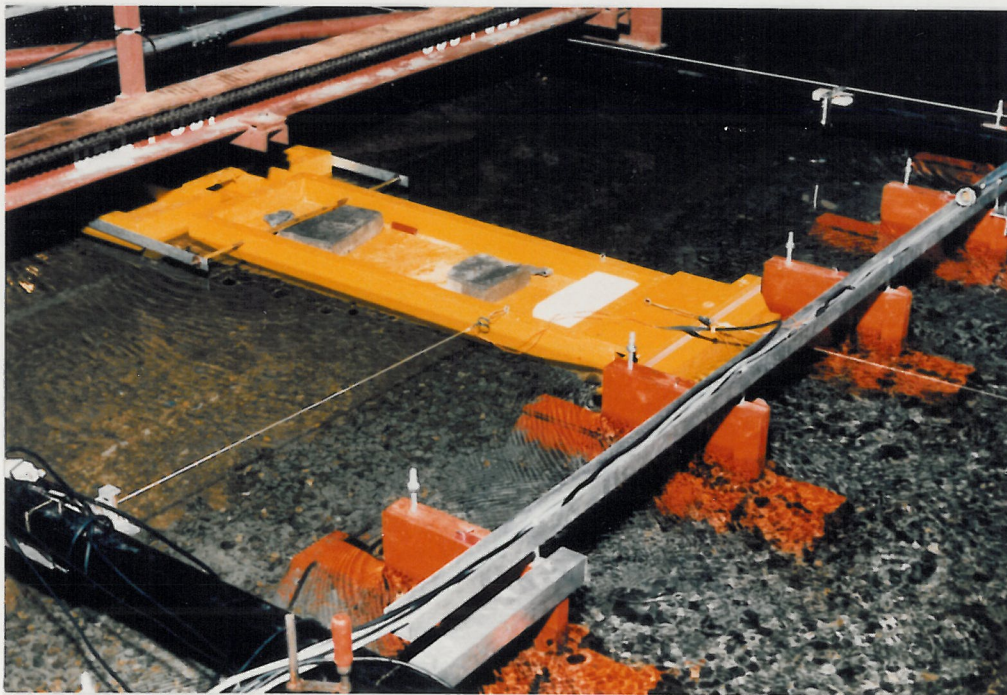


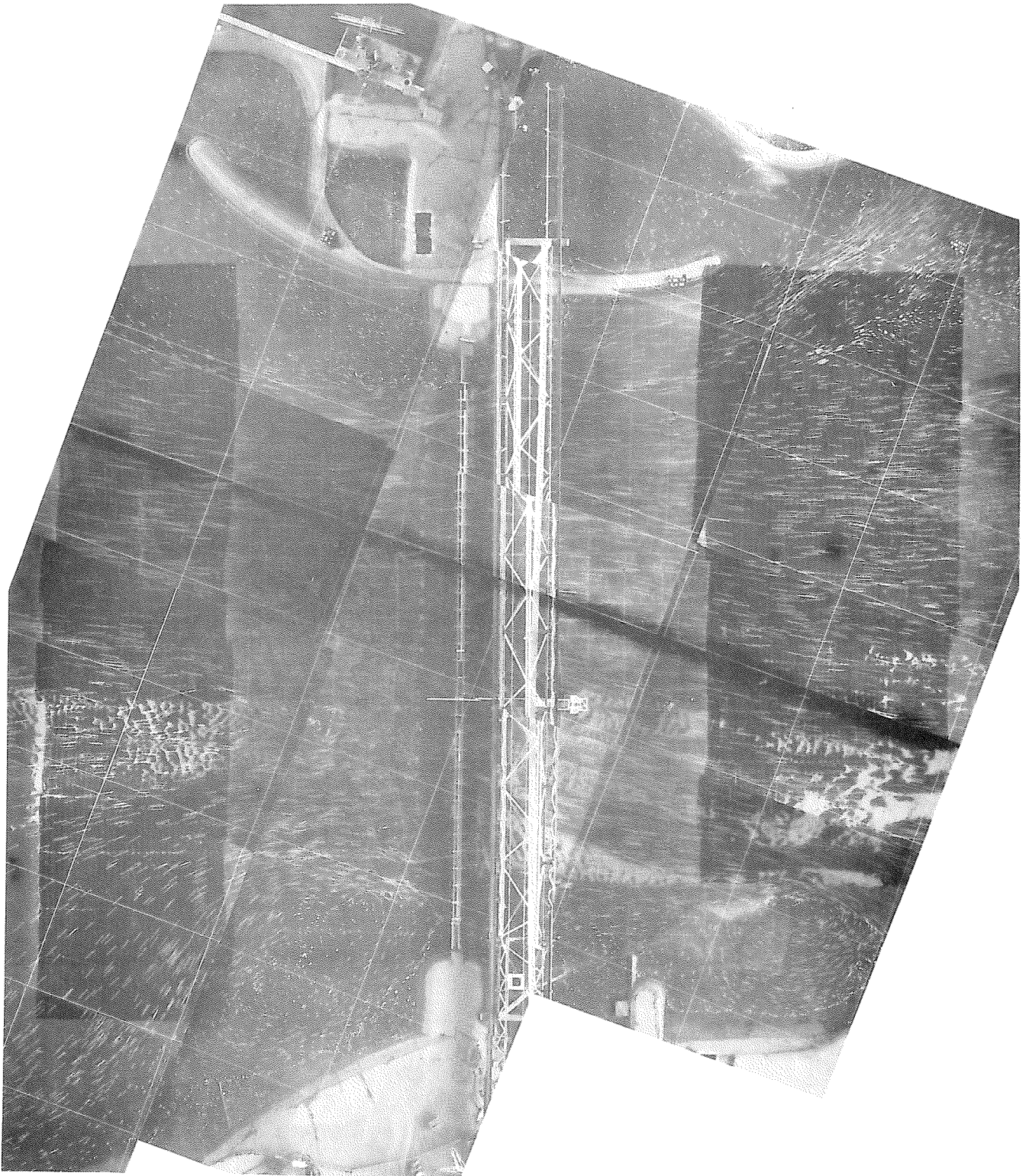
foto 2 Meetopstelling.

Stroomhinder Taklift 4

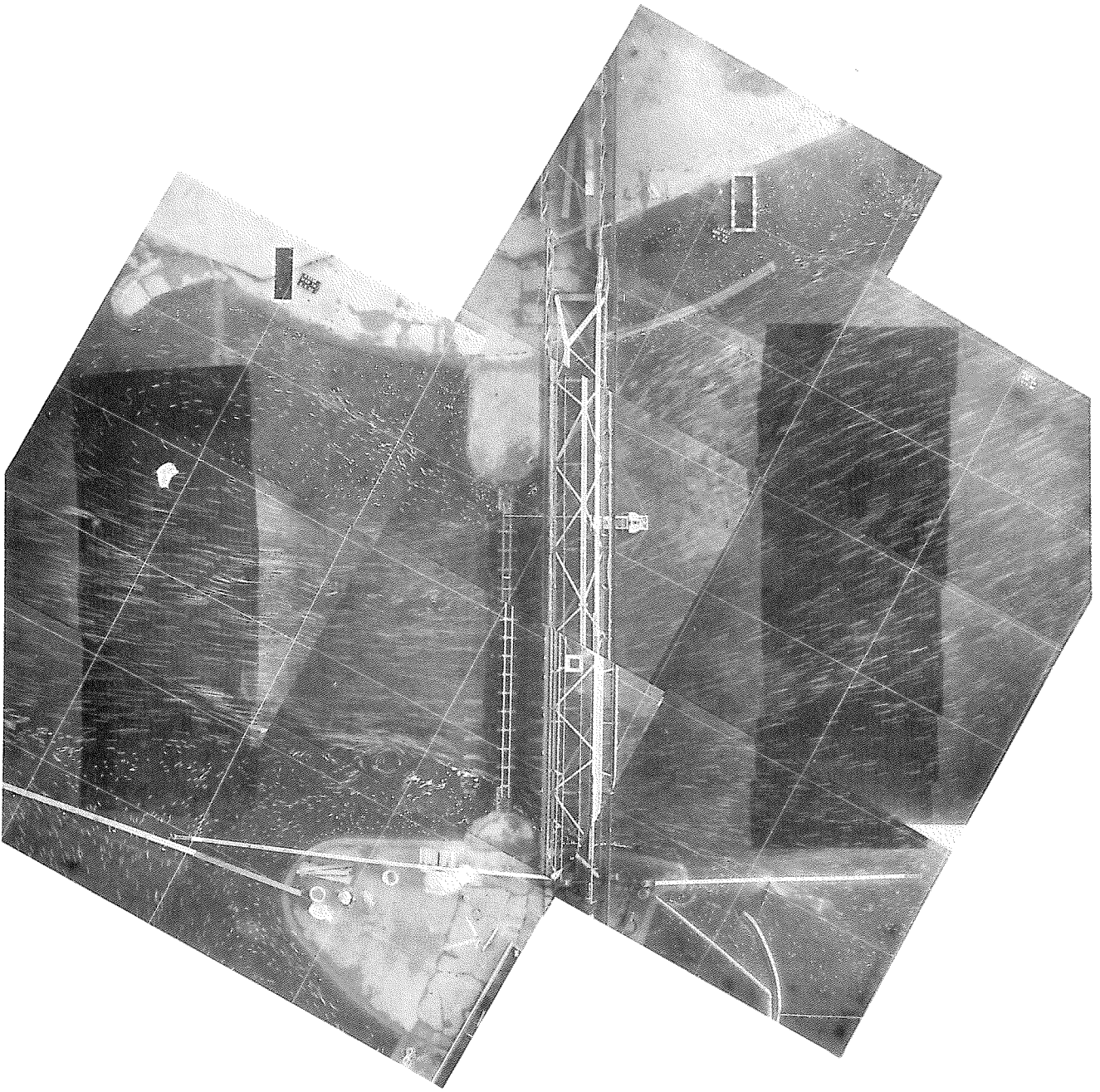
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2131

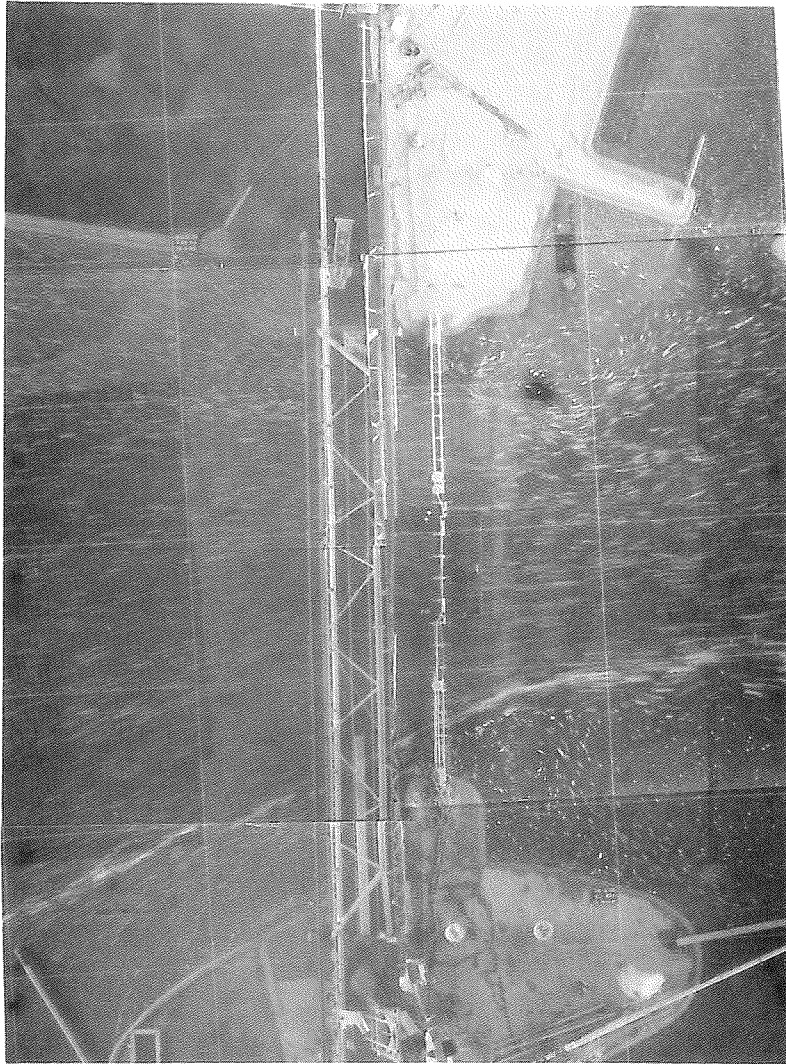
FIG.



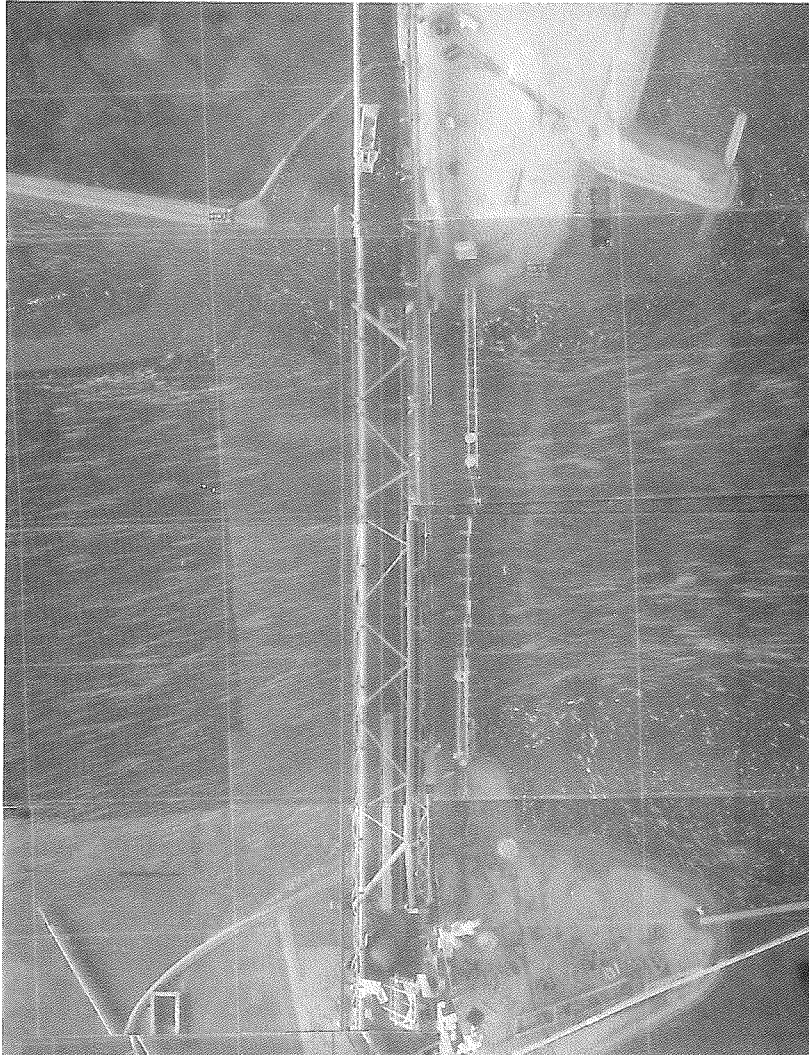




4 Stroombeeld T9



5 Stroombeeld T16



6 Stroombeeld T20

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands