

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

detailmodel stroomgeulen

stroombeeldonderzoek bij een aantal  
gesloten schuiven

verslag modelonderzoek

---

M 1878

december 1982

M 1878

---

stormvloedkering Oosterschelde

detailmodel stroomgeulen

stroombeeldonderzoek bij een aantal  
gesloten schuiven

verslag modelonderzoek

---

M 1878

december 1982

## INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Samenvatting van de resultaten</u> .....	2
2.1 Stroombeeld .....	2
2.2 Stroomsnelheidsmetingen .....	3
2.3 Waterstandsmetingen.....	4
2.4 Interpretatie naar getij-omstandigheden .....	4
3. <u>Overzicht onderzochte situaties</u> .....	5
4. <u>Instellen van het model</u> .....	7
5. <u>Stroombeeldonderzoek</u> .....	8
5.1 Algemeen .....	8
5.2 Stroombeeld per geometrie .....	8
6. <u>Stroomsnelheidsmetingen</u> .....	12
6.1 Meetschema .....	12
6.2 Ontbinden van het meetsignaal .....	12
6.3 Verwerking van de metingen .....	13
7. <u>Waterstandsmetingen</u> .....	18
8. <u>Interpretatie naar getij-omstandigheden</u> .....	19

## TABELLEN

- 1 Overzicht onderzochte situaties met gesloten schuiven in de Roompot en de Hammen
- 2 Karakteristieke grootheden van het stroombeeld bij eb
- 3 Karakteristieke grootheden van het stroombeeld bij vloed

Situatie 7 schuiven gesloten tussen R10...R17

- 4 Stroomgegevens 3,2 m onder oppervlak (filter 0,01 Hz)
  - 5 Stroomgegevens  $\frac{1}{3}$  h boven bodem (filter 0,01 Hz)
  - 6 Stroomgegevens 2,4 m boven bodem (filter 0,1 Hz)
  - 7 Stroomgegevens  $\frac{1}{3}$  h boven bodem (filter 0,1 Hz)
  - 8 Gegevens waterspiegelmeting
- 
- 9 Grootheden ten behoeve van de berekening van het getal van Strouhal

## FIGUREN

1 Overzicht van het modelgebied

2 Meetpunten stroomsnelheidsmeting

Spektra in het lage frekwentie-domein:

3 Snelheidskomponent u op raai 86 punt 4 (bodem)

4 Snelheidskomponent v op raai 86 punt 4 (bodem)

5 Snelheidskomponent u op raai 89 punt 1 (oppervlak)

6 Snelheidskomponent v op raai 89 punt 1 (oppervlak)

7 Snelheidskomponent u op raai 85 punt 5 (bodem)

8 Snelheidskomponent v op raai 85 punt 5 (bodem)

Spektra in het hoge frekwentie-domein:

9 Snelheidskomponent u op raai 86 punt 4 (bodem)

10 Snelheidskomponent v op raai 86 punt 4 (bodem)

11 Snelheidskomponent u op raai 89 punt 1 (oppervlak)

12 Snelheidskomponent v op raai 89 punt 1 (oppervlak)

13 Snelheidskomponent u op raai 85 punt 5 (bodem)

14 Snelheidskomponent v op raai 85 punt 5 (bodem)

15 Ongefilterd meetsignaal van de stroomsnelheid u (raai 85, punt 1)

16 Ongefilterd meetsignaal van de stroomsnelheid v (raai 85, punt 1)

17 Gefilterd meetsignaal van de stroomsnelheid u (raai 85, punt 1)

18 Gefilterd meetsignaal van de stroomsnelheid v (raai 85, punt 1)

19 1% overschrijdingswaarden van de stroomsnelheid als functie van de filterfrequenties

Gemeten maximale stroomsnelheden:

20 3,2 m onder oppervlak (filter 0,01 Hz)

21  $\frac{1}{3}$  h boven bodem (filter 0,01 Hz)

22 2,4 m boven bodem (filter 0,1 Hz)

23  $\frac{1}{3}$  h boven bodem (filter 0,1 Hz)

24 Verloop stroomsnelheden en wervelperioden als functie van het getij

## FOTO'S

### Stroombeeldfoto's eb

- 1 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17
- 2 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17, variant 1
- 3 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17, variant 2
- 4 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R9-R18, variant 3
- 5 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17, variant 4
- 6.1...6.8 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17, variant 5
- 7 Roompot, 1 schuif gesloten tussen R13-R14
- 8.1...8.12 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12-R15
- 9.1...9.7 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7-R19
- 10 Roompot, 9 schuiven gesloten tussen R1-R10
- 11.1...11.7 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5-R12, variant 4
- 12 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R22-R29, variant 4
- 13 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R16-R23, variant 4
- 14 Hammen, 7 schuiven gesloten tussen H5-H12, variant 5

### Stroombeeldfoto's vloed

- 15.1...15.7 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10-R17, variant 5

BIJLAGE

Berekening 1% overschrijding stroomsnelheden

Stroombeeldonderzoek bij een aantal gesloten schuiven

1. Inleiding

In het kader van het onderzoek ten behoeve van de stormvloedkering in de Oosterschelde werd in het detailmodel van de stroomgeulen een aantal situaties met gesloten schuiven onderzocht.

Het uitgangspunt hierbij was een gunstig werkklimaat te scheppen direct benedenstrooms van een aantal gesloten schuiven ten behoeve van het aanbrengen van de aanstortingen van de dorpelbalken en het plaatsen van de bovenbalken.

Na een oriënterend onderzoek in de Roompot met drie gesloten schuiven (projektnummer M 1786), waarbij als gevolg van een periodiek veranderend stroombeeld het verwachte gunstige werkklimaat (geringe stroomsnelheden direct achter het blok gesloten schuiven) niet was bereikt, richtte in dezelfde stroomgeul het onderhavige onderzoek zich in eerste instantie op een situatie met 7 gesloten schuiven. Hierbij werd vervolgens getracht, door het gedeeltelijk heffen van enige (of alle) schuiven, het voor de werkzaamheden hinderlijke alternerende stroombeeld lokaal te verdrijven.

Om meer inzicht te krijgen in het verloop van het stroombeeld werden bovendien situaties onderzocht met een variabel aantal gesloten schuiven en op verschillende lokaties in de stroomgeul. Tevens werd de meest belovende opstelling van de gesloten schuiven in de Hammen nader getoetst.

Het stroombeeldonderzoek was niet alleen gericht op het gebied vlak achter de kering, maar ook op de gehele benedenstroomse bodemverdediging met het oog op de stabiliteit van de randen van de blokkenmatten en de rand van de bodemverdediging.

Terwijl aanvankelijk het stroombeeld uitsluitend door middel van stroombeeldfoto's werd vastgelegd, concentreerde het onderzoek zich in laatste instantie rondom één geselecteerde oplossing met stroomsnelheids- en waterstandsmetingen.

Tenslotte is getracht aan de hand van dit onderzoek, bij een permanente stroom met een maximum debiet van een gemiddeld springtij, een antwoord te geven op de vraag hoe de resultaten van dit onderzoek moeten worden vertaald naar getij-omstandigheden.

Het onderhavige onderzoek, dat werd uitgevoerd in de periode april-juni 1982, stond onder leiding van ir. R.A.H. Thabet en J. Driegen, waarvan laatstgenoemde dit verslag heeft samengesteld.



## 2. Samenvatting van de resultaten

### 2.1 Stroombeeld

Het modelonderzoek, uitgevoerd bij een gemiddeld springtij, betrof in eerste instantie uitsluitend het vastleggen van het stroombeeld door middel van stroombeeldfoto's bij alle beproefde situaties met gesloten schuiven. Een selectie van deze foto's is opgenomen in dit verslag (zie tabel 1).

Samenvattend kan worden opgemerkt dat door middel van het sluiten van 7 schuiven in het midden van de Roompot een periodiek veranderend stroombeeld ontstaat, namelijk een proces van onderlinge beïnvloeding van wervelstraten en periodieke vorming van wervels in de "stroomschaduw", bekend als de wervelstraat van Von Kármán. Dit stroombeeld gaat gepaard met relatief hoge stroomsnelheden, ook in de richting evenwijdig aan de as van de stormvloedkering, zodat van een gunstig werkklimaat geen sprake kan zijn (zie foto's 1...4).

Door het gedeeltelijk heffen (ca. 1 m) van alle schuiven kan het alternerende stroombeeld lokaal weggedrukt worden. Hierbij blijven achter de kering relatief hoge stroomsnelheden bestaan, dat wil zeggen nog geen gunstig stroombeeld zoals verwacht, maar vanwege het wegblijven van een sterke dwarsstroom wel acceptabel (variant 4, zie foto 5). Daar het wenselijk is voor de werkzaamheden in het prototype toch minimaal één schuif in het midden geheel gesloten te houden, werd besloten deze situatie (variant 5, tabel 1) nader door te meten (zie paragraaf 2.2 en 2.3). Het stroombeeld bleef in grote lijnen hetzelfde als bij variant 4 (zie fotoserie 6 bij eb en 15 bij vloed).

Bij een groter aantal gesloten schuiven (12) ontstaat de neiging dat één wervel een overheersende stroomrichting veroorzaakt vlak achter het blok gesloten schuiven (zie fotoserie 9). Dit lijkt ook op te gaan voor het relatief grote aantal van 7 gesloten schuiven in de Hammen (zie foto 14).

In de lokaties nabij de oevers ligt, wat betreft de grootte van de stroomsnelheden, voortdurend de meest opvallende wervel direkt benedenstrooms van het blok gesloten schuiven (zie fotoserie 11 en foto 12).

Geheel stabiel is het stroombeeld indien de gesloten schuiven aansluiten op de oever en hier, zoals bij een vooruitstekend landhoofd, een konstante neer zich ontwikkelt (zie foto 10).

Tenslotte dient naar aanleiding van de stroombeeldfoto's te worden gewaar-

schuwd voor de alternerende stroomsnelheden (evenwijdig aan de as van de kering) loodrecht op de randen van de blokkenmatten en langs de rand van de bodemverdediging. Welk effect deze zullen hebben op ontgrondingen is met de huidige kennis moeilijk af te schatten.

## 2.2 Stroomsnelheidsmetingen

De metingen zijn volgens het meetschema van figuur 2 verricht. Per punt zijn 0,5-uursmetingen van stroomsnelheid en -richting uitgevoerd, terwijl bovendien 3-uursmetingen zijn uitgevoerd in een 3-tal punten.

Uit het ontbonden meetsignaal in x-richting (stroomsnelheid u evenwijdig aan de as van de kering) en in y-richting (stroomsnelheid v loodrecht op de as) is steeds bij elk van de 3-uursmetingen een afzonderlijk spektrum bepaald voor het gebied met lage en met hoge frekwenties.

De piek-frekwentie van de spektra met lage frekwenties (zie de figuren 3...8) komt duidelijk overeen met de frekwentie van de wervelstraat van Von Kármán.

De spektra met hoge frekwenties (zie de figuren 9...14) tonen aan dat in het turbulente gebied weinig energie zit in verhouding met de zogenaamde lek van het toegepaste filter (piek ter linker zijde van de filterfrequentie van 0,0056 Hz).

Met de spektra is een schatting te maken voor de statistische verdeling van de stroomsnelheid, en bijvoorbeeld de 1% overschrijdingswaarde te berekenen. Uit de resultaten van het drietal meetpunten (met een 3-uursmeting) kan de konklusie worden getrokken dat op 50 m uit de as nog grote (oppervlakte-) stroomsnelheden loodrecht op de as mogelijk zijn (een 1% overschrijdingssnelheid in de orde van 3 m/s). Bij een gemiddeld getij zal op deze plaats zonder gesloten schuiven een (oppervlakte-) stroomsnelheid van ca. 4,5 m/s bestaan (zie verslag M 1737, deel IV), dat wil zeggen bij een gemiddeld springtij ca. 5 m/s. Dit betekent dus toch een verbetering in de werkomstandigheden.

In de punten 300 m en 450 m uit de as, van belang voor de bodemsnelheden, is duidelijk sprake van afwisselend grote stroomsnelheden in x-richting en in y-richting (zie tabel paragraaf 5.2.3). Bij dit stroombeeld, dat zich achter het blok gesloten schuiven over de gehele bodemverdediging uitstrekt, kan de stabiliteit van de bodemverdediging gevaar lopen (zie de notitie R 1775 "Stabiliteit van de randen van de bodemverdediging" d.d. februari 1982).

Om in paragraaf 5.2.3 nader uiteen gezette redenen bleek het niet goed mogelijk betrouwbare waarden voor de 1% overschrijdingssnelheid te geven, uitgaande van de 0,5-uursmetingen in de overige gemeten punten. Wel worden diverse statistische grootheden in de tabellen 4...7 weergegeven. Zeer illustratief is echter het verloop van het meetsignaal van een 0,5-uursmeting, zoals weergegeven in de figuren 15...18. Duidelijk is de frekwentie van de grote wervels in de wervelstraat van Von Kármán zichtbaar.

### 2.3 Waterstandsmetingen

In de situatie met 7 gesloten schuiven midden in de Roompot volgens de uitgekozen variant werd tenslotte ook een waterstandsmeting uitgevoerd met het doel uit simultaan gemeten waterstanden het te verwachten verhang te berekenen.

Uit de metingen bleek dat in de richting evenwijdig aan de as van de stormvloedkering, berekend over een afstand van 45 m, een verhang mogelijk is van 0,004 op 25 m uit de kering en aflopend tot een verhang van 0,002 op 150 m uit de kering.

Loodrecht op de as van de stormvloedkering is eveneens een verhang mogelijk van 0,004, berekend tussen de meetraaien op 25 m en 80 m uit de as, en aflopend tot een verhang van 0,003, berekend tussen de raaien op 80 m en 150 m uit de as.

### 2.4 Interpretatie naar getij-omstandigheden

Uit de serie met een variabel aantal gesloten schuiven is het mogelijk geweest een getal van Strouhal te definiëren met een nagenoeg konstante waarde. Hiermee kan worden nagegaan hoe de periode van de Von Kármán-wervels tijdens het getij varieert.

Gezien de tijdsduur van de wervelperiodes in relatie tot het verloop van de getijkromme kan worden verwacht dat boven een stroomsnelheid van ca. 0,5 m/s (ongestoorde stroomsnelheid) een vrij stabiel wervelpatroon zal ontstaan.

### 3. Overzicht onderzochte situaties

De sluitgatconfiguratie kwam overeen met de in figuur 1 weergegeven situatie. De toegepaste geschematiseerde pijlers waren konform het resultaat van het "Schematisatie-onderzoek pijlers stormvloedkering Oosterschelde" (M 1644) ter verkrijging van eenzelfde afvoercoëfficiënt als die van een geometrisch gelijkvormige pijler volgens het ontwerp van de Directie Sluizen en Stuwen van Rijkswaterstaat.

Als "gesloten" schuiven werden in het model eenvoudige schotten tussen de desbetreffende pijlers geplaatst, zodanig dat geen overstortend water mogelijk was. Bij waterstanden hoger dan N.A.P. +1,2 m zal bij een geheel gesloten schuif in werkelijkheid overstorten optreden. Dit betekent dat onder normale omstandigheden de laagdikte van de overstortende straal niet groot zal zijn (maximaal enkele decimeters). Naar verwachting wordt het stroombeeld hierdoor niet noemenswaardig beïnvloed.

Verder dient te worden vermeld dat in het model onder de dorpelbalken geen spleet aanwezig was. Dit komt overeen met de situatie na het aanbrengen van de bestortingen aan één of beide kanten van de dorpelbalk.

Het onderhavige stroombeeldonderzoek, dat in de Roompot zowel bij de eb- als de vloedstroom en in de Hammen uitsluitend bij de ebstroom werd uitgevoerd, kende in eerste instantie in het midden van de Roompot een situatie met 7 geheel gesloten schuiven en vervolgens een drietal varianten hierop met geheel of gedeeltelijk gesloten schuiven (zie tabel 1, proeven T1...T4).

Tevens werden, uitsluitend met een blok van geheel gesloten schuiven, situaties onderzocht met 1, 3 en 12 gesloten schuiven (in het midden van de Roompot) en 9 gesloten schuiven (aansluitend op de oever van Noord-Beveland), zie tabel 1, proeven T5...T8.

Daarna werden met de situatie met 7 gesloten schuiven volgens variant 2 andere lokaties in de Roompot onderzocht (zie tabel 1, proeven T9...T11).

Vervolgens werd een situatie met alle 7 schuiven ca. 1 m geheven onderzocht op diverse lokaties (zie tabel 1, proeven T4a, T9a...T11a) en tenslotte alleen in het midden van de Roompot en de Hammen een hiermee gelijkende situatie, waarbij wel de middelste schuif geheel was gesloten (zie tabel 1, proeven T4b, Roompot en T3, Hammen).

De in de tabel opgenomen kolom "bijzonderheden" betreft de schuiven welke slechts gedeeltelijk waren gesloten.

In overleg met Rijkswaterstaat is alleen proef T4b (dus 1 schuif geheel dicht en aan weerszijden 3 schuiven slechts 1 m open) geselecteerd voor

een stroomsnelheids- en waterspiegelmeting en wel uitsluitend bij de vloedstroom. Overigens zijn bij alle onderzochte situaties wel series stroombeeldfoto's genomen op diverse tijdstippen gedurende een paar cyclussen van het periodiek veranderend stroombeeld. Ook in overleg met Rijkswaterstaat is slechts een deel van deze stroombeeldfoto's opgenomen in dit verslag (zie tabel 1 en paragraaf 5.1), hetzij met één momentopname, hetzij met een gehele cyclus.

#### 4. Instellen van het model

Voor het instellen van het detailmodel werd, bij gebrek aan passende randvoorwaarden, gebruik gemaakt van de gevonden stroomsnelheidsverdeling in de ijkraaien bij de eindsituatie zonder gesloten schuiven (zie verslag M 1737, deel IV).

Daarentegen kon het in te stellen (maximum) debiet met bijbehorende benedenwaterstand berekend worden door het een-dimensionale wiskundige model van de Oosterschelde Implic van Rijkswaterstaat. De grootte van de effectieve doorstroomoppervlakte is bepaald volgens de methode van M 1756 (zie notitie STROOM 81.091, doorstroomoppervlakte, afvoercoëfficiënt en effectieve doorstroomoppervlakte van de in aanbouw zijnde kering).

Ten behoeve van het onderzoek in de Roompot en de Hammen werden de volgende waarden, behorend bij het slotgemiddelde springtij 1961.0, geleverd en in het model toegepast:

- a. Voor de situatie met 7 schuiven gesloten in de Roompot (en in de Schaar van Roggenplaat en de Hammen alle dorpelbalken geplaatst):  
eb,  $Q_{\max} = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. -1,18 m  
vloed,  $Q_{\max} = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m.
- b. Voor de situatie met 12 schuiven gesloten in de Roompot (en in de Schaar van Roggenplaat en de Hammen alle dorpelbalken geplaatst):  
eb,  $Q_{\max} = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. -1,23 m  
vloed,  $Q_{\max} = 37.400 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,38 m.
- c. Voor de situatie met 7 schuiven gesloten in de Hammen (en in de Roompot en de Schaar van Roggenplaat respectievelijk 16 dorpelbalken en alle dorpelbalken geplaatst):  
eb,  $Q_{\max} = 6.660 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. -0,82 m.

Daar het onderzoek vooral fundamenteel gericht was op het stroombeeld in relatie met de geometrie, is gemakshalve het debiet behorende bij 7 gesloten schuiven voor nagenoeg alle onderzochte situaties aangehouden, ongeacht het aantal en de plaats van de gesloten schuiven (behalve bij 12 gesloten schuiven).

## 5. Stroombeeldonderzoek

### 5.1 Algemeen

Om het doorgaans periodiek wisselende stroombeeld te kunnen weergeven is bij elk van de in tabel 1 genoemde situaties een serie foto's gemaakt van het stromende model, boven het gebied tussen de as van de stormvloedkering en de benedenstroomse rand van de bodemverdediging. De opnamen werden gedurende enkele cyclussen om de 90 s (bij 1 of 3 gesloten schuiven) of 180 s (resterende situaties) genomen.

In overleg met Rijkswaterstaat zijn een aantal situaties geselecteerd waarvan òf één opname òf een aantal opnamen gedurende één cyclus in dit verslag zijn weergegeven. De foto's waarnaar in paragraaf 5.2 is verwezen, betreffen alle de geselecteerde foto's voor de ebstroom, dit in verband met de voor vloed direkt benedenstrooms van de kering (èn in het zicht) liggende railbrug in het model.

Slechts bij de voor de stroomsnelheids- en waterspiegelmetingen uitgekozen situatie met 7 schuiven (variant 5, zie tabel 1) zijn ook de stroombeeldfoto's bij vloed in dit verslag weergegeven (zie de foto's 15.1...15.7). Deze foto's geven aan dat bij vloed het stroombeeld niet wezenlijk anders was dan bij eb (vergelijk met foto's 6.1...6.8). Dit kan evenwel niet bij alle situaties gezegd worden, met name bij de situatie met 9 gesloten schuiven aan de oever van Noord-Beveland (benedenstrooms bij vloed een wat complexer stroombeeld met wervels) en bij de situatie met 12 gesloten schuiven (benedenstrooms bij vloed een meer symmetrisch beeld van links- en rechtsomdraaiende wervels zoals dit bij 7 schuiven in het midden van de stroomgeul het geval is).

Van alle niet-geselecteerde situaties voor opname in dat verslag, met name bij vloed, èn de situaties met één gekozen foto zijn wel alle stroombeeldfoto's compleet in het archief van het Waterloopkundig Laboratorium aanwezig en direkt opvraagbaar.

### 5.2 Stroombeeld per geometrie

In deze paragraaf worden de in het model gevonden stroombeelden per kenmerkende geometrie besproken.

7 schuiven (al of niet geheel) gesloten in het midden van de Roompot.

In eerste instantie werd een situatie midden in de Roompot onderzocht met 7 gesloten schuiven, waarbij vervolgens door het min of meer heffen van enige (of alle) schuiven getracht werd, het "lastige" periodiek veranderend stroombeeld, bekend als de wervelstraat van Von Kármán, lokaal te verdrijven. Ondanks de alternatieven gericht op het verkleinen van de snelheidsgradiënt langs de randen van het geblokkeerde deel van de stormvloedkering (zie de foto's 1...4), bleef er steeds sprake van een duidelijk altemnerend stroombeeld en kon geen duidelijk gunstig werkklimaat worden verkregen. Een aantal karakteristieke grootheden van het stroombeeld zijn geïnteriseerd in de tabellen 2 (eb) en 3 (vloed). Duidelijk is te zien dat ook de frekwentie van de paren van wervels (dus linksomdraaiende + rechtsomdraaiende wervel) nauwelijks verandert met het verschil in de varianten.

Bij het heffen van alle 7 schuiven met ca. 1 m kon wel worden bereikt dat het systeem van beurtelings links- en rechtsomdraaiende wervels enigszins van de kering werd weggedreven (zie foto 5).

Daar het wenselijk is toch in de luwte van minimaal één geheel gesloten schuif te werken werd besloten ook deze situatie (dus met aan weerszijden van de gesloten schuif 3 schuiven ca. 1 m geheven) vast te leggen (zie de fotoserie 6). Het stroombeeld bleef in grote lijnen hetzelfde (vergelijk met foto 5), behalve uiteraard zeer dicht achter de gesloten schuif.

variabel aantal gesloten schuiven in het midden van de Roompot.

Om inzicht te krijgen in het verloop van het stroombeeld bij een ander aantal gesloten schuiven werd ook een situatie met 1 gesloten schuif (denkbaar bij onderhoudswerkzaamheden), 3 gesloten schuiven (ter vergelijking met andere getijkcondities bij M 1786) en 12 gesloten geschuiven (naast 7 gesloten schuiven voor de Roompot een mogelijk alternatief) onderzocht. Steeds werd ook hier een altemnerend stroombeeld gevonden. De frekwentie van lokatie van de wervels blijkt afhankelijk te zijn:

- a) van afmeting en plaats van het blok gesloten schuiven (zie de situaties met 1, 3 en 7 gesloten schuiven; foto's 7, 8 en 1), of
- b) van het debiet (zie de situatie met 3 gesloten schuiven volgens verslag M 1786 en onderhavig verslag; fotoserie 8), of
- c) van a en b (zie de situatie 12 schuiven; fotoserie 9), zoals ook is weergegeven in de tabellen 2 en 3.



Als bijzonderheid valt hierbij te vermelden dat in het geval van 12 gesloten schuiven de linksomdraaiende wervel periodiek verschijnt en verdwijnt, en daarentegen direkt achter het blok gesloten schuiven een grote rechtsomdraaiende wervel konstant aanwezig blijft. Het blok gesloten schuiven fungeert als het ware als een soort verlengd landhoofd vanuit Noordland (zie Foto's 9.1...9.7).

Bij afwezigheid van een alternerend stroombeeld in een groot gebied achter het blok gesloten schuiven kan deze situatie met 12 gesloten schuiven voor het werkklimaat mogelijk als een relatief gunstige oplossing worden gezien ten opzichte van de oplossingen met 7 schuiven gesloten (althans bij eb). Echter blijft deze situatie voor de bodemverdediging ongunstig.

#### 7 schuiven (al of niet geheel) gesloten elders in de Roompot

Ligt het blok gesloten schuiven niet meer in het midden van de stroomgeul (lokaties R5-R12 en R22-R29) dan is het duidelijk periodiek ontstaan en verdwijnen van een wervel alleen aanwezig aan de zijde waar de afstand tussen gesloten schuiven en oever het grootst is. Deze wervel is echter relatief ver van de kering verwijderd. Dichterbij de kering is min of meer blijvend de tegenpool van voornoemde wervel aanwezig (zie de foto's 11 en 12), enigszins gelijkend op de situatie met 12 gesloten schuiven. Dit volgt uit het feit dat in de nabijheid van de oever de aandrijvende kracht van het alternerende systeem van wervels aan weerszijden van de gesloten schuiven niet meer even groot is.

De min of meer tusseliggende lokatie R16-R23 vertoont weer meer gelijkenis met de lokatie in het midden van de stroomgeul (zie foto 13).

#### 9 schuiven gesloten aan de oever

Een bijzonder geval doet zich voor indien het blok van 7 gesloten schuiven zo dicht tegen de oever aan ligt dat het de voorkeur verdient meer schuiven gesloten te houden aansluitend aan de oever. In deze situatie, onderzocht bij de oever van Noord-Beveland, ontstaat een grote, stabiele neer als bij een uitgebouwde damaanzet (foto 10).

#### 7 schuiven (al of niet geheel) gesloten in het midden van de Hammen

In deze situatie met een relatief groot aantal gesloten schuiven in een klein sluitgat doet zich min of meer hetzelfde voor als in de Roompot met 12 schuiven, in die zin dat vlak achter de kering een tamelijk stabiel

stroombeeld aanwezig is met, althans in de wervel achter het blok gesloten schuiven, betrekkelijk lage stroomsnelheden (zie foto 14).

## 6. Stroomsnelheidsmetingen

### 6.1 Meetschema

Aan de hand van de stroombeeldfoto's is de situatie met 7 gesloten schuiven volgens variant 5 (zie tabel 1) gekozen als de situatie met een relatief gunstig werkklimaat waarbij een nadere stroomsnelheidsmeting moest worden uitgevoerd.

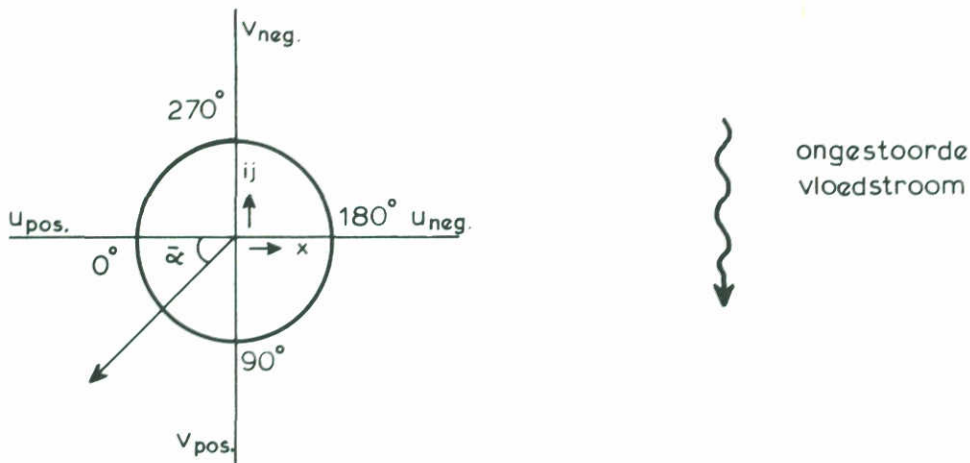
Hierop zijn in deze situatie bij vloed stroomsnelheden gemeten volgens het meetschema van figuur 2. De stroomsnelheid en stroomrichting is gemeten op een hoogte van 3,2 m onder het oppervlak (ten behoeve van het varend bedrijf), op  $\frac{1}{3}$  van de waterdiepte vanaf de bodem en op 2,4 m boven de bodem (ten behoeve van de stabiliteit van de blokkenmatten). De gekozen meethoogten zijn afhankelijk van respectievelijk de diepgang van de schepen en de afmetingen van de gebruikte stroom-richtingsmeter.

Vanwege de lage frekquenties van de Von Kármán-wervelstraat werd gekozen voor een lange meetduur van 3 uur in het model (of circa 27 uur permanente stroom in het prototype) in een drietal punten om althans voor deze lokaties een redelijk betrouwbaar spektrum te kunnen bepalen. Hiermee is een schatting te maken voor de statistische verdeling van de stroomsnelheid, bijvoorbeeld de 1% overschrijdingswaarde. Deze 3-uursmeting is uitgevoerd in raai 85, meetpunt 5, in raai 86, meetpunt 4 (beide op 2,4 m boven de bodem) en in raai 89, meetpunt 1 (op 3,2 m onder het oppervlak).

Ter besparing van tijd en kosten werden daarnaast in de overige punten van het meetschema (zie Figuur 2) 0,5-uursmetingen (of circa 4,5 uur prototype) uitgevoerd, met de bedoeling door middel van de gemiddelde stroomsnelheid en het gemiddelde van toppen en dalen in de meetregistratie ook schattingen te maken van de 1% overschrijdingswaarden.

### 6.2 Ontbinden van het meetsignaal

Omdat uit het, met de stroomrichtingsmeter gemeten, oorspronkelijke meet-signaal niet goed de periodiciteit van het wisselende stroombeeld is weer te geven, is het meetsignaal ontbonden in een komponent in x-richting (stroomsnelheid  $u$  evenwijdig aan de as van de stormvloedkering) en een komponent in y-richting (stroomsnelheid  $v$  loodrecht op de as van de stormvloedkering):



Bovendien geeft deze wijze van presenteren van de stroomsnelheden direkt informatie omtrent de aanstroming op de randen van de blokkenmatten en de aanstroming van de werkschepen.

### 6.3 Verwerking van de metingen

Van de 3-uursmetingen zijn spektra berekend en geplot voor het laagfrequent gebied met een laagdoorlaatfilter van 0,1 Hz (model) of 0,011 Hz (prototype) en voor het hoogfrequent (turbulente) gebied met een hoogdoorlaatfilter van 0,05 Hz (model) of 0,0056 Hz (prototype), zie de figuren 3...14. De piek-frekventies van 0,0009 Hz (prototype) van de spektra met lage frequenties (zie de figuren 3...8 uitgezonderd figuur 6) komt duidelijk overeen met de periode van de wervelstraat van Von Kármán, zoals deze uit de stroombeeldfoto's is afgelezen en weergegeven in tabel 3. Een uitzondering hierop vormt het spectrum in figuur 6, daar in het betreffende meetpunt min of meer permanente stroomsnelheden haaks op de as ( $V_{pos}$ ) optreden.

De spektra met hoge frequenties (zie de figuren 9...14) tonen aan dat in het turbulente gebied weinig energie zit in verhouding met de zogenaamde lek van het toegepaste filter (piek ter linkerzijde van de filterfrequentie).

Uitgaande van de veronderstelling dat de toppen een Raleigh-verdeling hebben, wordt de 1% overschrijdingswaarde van de stroomsnelheid gegeven door (voorbeeld stroomsnelheid  $u$ ):

$$u_{1\%} = |\bar{u}| + 3,03 \sqrt{m_0} \quad (1)$$

waarin:

$$u_{1\%} = 1\% \text{ overschrijdingssnelheid} \quad (\text{m/s})$$

$|\bar{u}|$  = absolute waarde van de gemiddelde stroomsnelheid (m/s)  
 $m_0$  = nulde orde spektrale moment (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

De gemiddelde stroomsnelheid  $\bar{u}$  of  $\bar{v}$  is afzonderlijk van het spektrum bepaald uit het ontbonden meetsignaal van de 3-uursmetingen. De afleiding van formule (1) is weergegeven in een bijlage.

Optellen van de oppervlakten van het laagfrequent en hoogfrequent spectrum per meetpunt geeft in principe een redelijke schatting van het oppervlak van het totale spectrum (en dus van  $m_0$ ).

In onderstaande tabel zijn voor het drietal beschouwde punten de te verwachten stroomsnelheden met een overschrijdingskans van 1% weergegeven.

meetschema (zie figuur 2)			x-richting			y-richting		
raai	punt	hoogte	$\bar{u}$ (m/s)	$3,03 \sqrt{m_0}$ (m/s)	$u_{1\%}$ (m/s)	$\bar{v}$ (m/s)	$3,03 \sqrt{m_0}$ (m/s)	$v_{1\%}$ (m/s)
85	5	1 (bodem)	0,6	1,4	2,0	0,3	1,5	1,8
86	4	1 (bodem)	0,7	2,5	3,2	0,5	1,6	2,1
89	1	3 (oppervlak)	0,2	1,1	1,3	0,9	2,1	3,0

Overigens kan een dergelijke sommatie van de spektra in dit geval wel een enigszins overdreven waarde van  $m_0$  opleveren als gevolg van de zogenaamde lek van het toegepaste filter en een kleine overlapping van beide spektra (zie voorbeeld figuur 9). Vergelijk ook de waarden voor de 1% overschrijdingssnelheid in de tabel met de waarden welke alleen uit het laagfrequent spectrum zijn berekend en weergegeven in figuur 19.

De tabel laat zien dat op een punt op 50 m uit de as (meetpunt 1 in raai 89) nog relatief grote stroomsnelheden aan het oppervlak haaks op de as mogelijk zijn. Een en ander is niet duidelijk zichtbaar op de stroombeeldfoto's door de "wegschietende" stroomballetjes direkt benedenstrooms van het blok gesloten schuiven.

Ook in de punten op 300 m en 450 m uit de as (meetpunten 4 in raai 86 en 5 in raai 85), van belang voor de stabiliteit van de bodemverdediging (bodem-snelheden gemeten 2,4 m boven de bodem), is duidelijk sprake van afwisselend

grote stroomsnelheden in x-richting en in y-richting (midden achter het blok gesloten schuiven min of meer van gelijke grootte).

Op grond van de spektra met hoge frekwenties is, in overleg met Rijkswaterstaat, ten behoeve van het uitwerken van de stroomsnelheden aan de oppervlakte (en op  $1/3$  van de waterdiepte vanaf de bodem), gemeten tijdens de 0,5-uurmetingen, gefilterd met 0,1 Hz (model) of 0,011 Hz (prototype). Dat wil zeggen dat alle perioden in het ontbonden meetsignaal  $< 90$  s (prototype) buiten beschouwing zijn gelaten.

Ter illustratie zijn in de figuren 15...18 de ontbonden signalen ongefilterd en gefilterd weergegeven voor raai 85, meetpunt 1, meethoogte 3,2 m onder de oppervlakte.

In verband met de stabiliteit van de bodemverdediging is in overleg met Rijkswaterstaat ten behoeve van het uitwerken van de stroomsnelheden aan de bodem (en op  $1/3$  van de waterdiepte vanaf de bodem), gemeten tijdens de 0,5-uurmetingen, gefilterd met 1 Hz (model) of 0,112 Hz (prototype). Dat wil zeggen dat alle perioden in het ontbonden meetsignaal  $< 9$  s (prototype) buiten beschouwing zijn gelaten.

Uit de aldus gefilterde meetsignalen zijn, gezien de relatief korte meetduur van 0,5 uur, geen spektra berekend, maar lag het in het voornemen met behulp van het gemiddelde van de stroomsnelheid en het gemiddelde van de maxima (toppen en dalen in de meetregistratie) een waarde te geven voor de 1% overschrijdingskans van de stroomsnelheid volgens (voorbeeld stroomsnelheid  $u$ ):

$$u_{1\%} = |\bar{u}| + 2,42 \hat{u} \quad (2)$$

waarin:

$$u_{1\%} = 1\% \text{ overschrijdingssnelheid} \quad (\text{m/s})$$

$$|\bar{u}| = \text{absolute waarde van de gemiddelde stroomsnelheid} \quad (\text{m/s})$$

$$\hat{u} = \text{gemiddelde van de maxima} \quad (\text{m/s})$$

(zie ook de definitieschets op blz. 17).

Bovenstaande formule is afgeleid uitgaande van de veronderstelling dat de maxima volgens de zogenaamde Raleigh-verdeling zijn verdeeld. De afleiding is gegeven in de bijlage van dit verslag.

Uitgaande van formule (1) en het gegeven dat  $m_0$  overeenkomt met de variantie, indien er althans sprake is van een smal spectrum, is als eerste benadering ook te gebruiken:

$$u_{1\%} = |\bar{u}| + 3\sigma_{\bar{u}} \quad (3)$$

waarin:

$$\sigma_{\bar{u}} = \sqrt{\text{variantie}} \quad (\text{m/s})$$

Echter na vergelijking van de resultaten van de 3-uursmetingen (volgens de spektrale berekening en formule 1) met de 0,5-uursmetingen (volgens de formules 2 of 3) in dezelfde meetpunten, bleken deze resultaten niet op elkaar aan te sluiten.

Ten aanzien van het gebruik van formule (3) moet de oorzaak worden gezocht in de (te) korte meetduur van 0,5 uur (model).

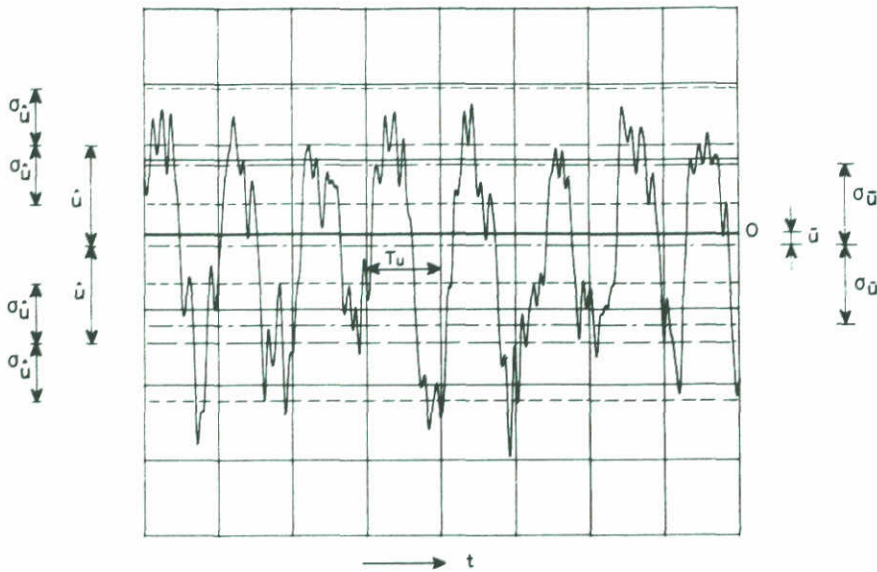
Ten aanzien van het gebruik van formule (2) moet de oorzaak worden gezocht in de keuze van de gebruikte filters met filterfrequenties van 1 Hz (model) en 0,1 Hz (model) en in de toch ook voor deze methode (te) korte meetduur van 0,5 uur (model).

Dit bleek uit de resultaten van de 3-uursmetingen, verwerkt volgens formule (2) na gebruik van de filters met filterfrequentie 1 Hz, 0,1 Hz en daaraan toegevoegd 0,04 Hz. Pas bij het laatstgenoemde filter van 0,04 Hz (model) of 0,004 Hz (prototype) kwam de volgens vergelijking (2) gevonden 1% overschrijdingswaarde voor de stroomsnelheid redelijk goed overeen met de uitkomsten uit de spektrale berekeningen (zie figuur 19). Hierbij gaf het feit dat pas bij dit filter voor de gemiddelde periodetijd ca. 120 s (model) of ca. 1070 s (prototype) werd gevonden, zijnde de periode waarin de paren van wervels verschijnen, de aanwijzing dat bij minder zwaar filteren teveel kleine golven uit de meetregistratie als maxima worden meegenomen (zie ook figuren 17 en 18).

Daarnaast werd de 3-uursmeting, gefilterd met het zware filter van 0,04 Hz (model), onderverdeeld in afzonderlijke 0,5-uursmetingen waarbij voor elk deel een 1% overschrijdingswaarde voor de stroomsnelheid volgens vergelijking (2) werd berekend. Er bleek een tamelijk grote spreiding in de onderlinge resultaten te bestaan. Met andere woorden de regelmaat in het periodiek veranderende stroombeeld is toch niet zo groot als de stroombeeldfoto's in eerste instantie deden veronderstellen.

Betreffende de 0,5-uursmetingen is daarom besloten geen te verwachten stroomsnelheden te presenteren met een kans van optreden, maar te volstaan met het uitsluitend in de tabellen 4...7 weergegeven van de tijdens het halve uur waargenomen gemiddelde stroomsnelheden ( $\bar{u}$  en  $\bar{v}$ ) met standaardafwijking ( $\sigma_{\bar{u}}$  en  $\sigma_{\bar{v}}$ ) en gemiddelde maximale stroomsnelheden ( $\hat{u}$  en  $\hat{v}$ ) met standaardafwijking ( $\sigma_{\hat{u}}$  en

$\sigma_{\hat{v}}$ ), alsmede de gemiddelde periodetijd ( $\bar{T}_u$  en  $\bar{T}_v$ ) met standaardafwijking ( $\sigma_{\bar{T}_u}$  en  $\sigma_{\bar{T}_v}$ ). Voor een nadere definiëring wordt naar onderstaande schets verwezen.



#### Definitieschets

Bovendien worden de tijdens het halve uur maximale gemeten (niet ontbonden) stroomsnelheden als vektoren gepresenteerd. Hierbij is steeds, zoals ook ten behoeve van de in de tabellen weergegeven resultaten, het meetsignaal gefilterd met de afgesproken filterfrequenties voor de oppervlakte stroomsnelheden (zie figuur 20) en bodem-stroomsnelheden (zie figuur 22), alsmede met beide filters voor de stroomsnelheden op  $1/3$  h vanaf de bodem (zie figuren 21 en 23).



## 7. Waterstandsmetingen

Naast stroomsnelheidsmetingen werd tevens bij dezelfde situatie met 7 gesloten schuiven een beperkte waterstandsmeting verricht. In het gebied dicht bij de kering gelegen, zijn 0,5-uursmetingen uitgevoerd met name in de raaien op 25 m, 80 m en 150 m benedenstrooms van de kering achter het blok gesloten schuiven.

Hierdoor was het mogelijk, aan de hand van simultaan gemeten waterstanden, een schatting te geven van de te verwachten maximale verhangen, zowel in de richting evenwijdig aan als in de richting loodrecht op de as van de stormvloedkering.

Vanwege een onvolkomenheid in de data-acquisitie konden slechts voor een deel van het meetgebied betrouwbare resultaten worden gegeven, welke in tabel 8 zijn opgenomen. Ook hier is vanwege de relatief korte meetduur geen schatting gegeven voor de kans van optreden van de diverse verhangen, maar is volstaan met het uitsluitend weergeven van het maximale verhang (positief  $i_{\max}$  en negatief  $i_{\min}$ ) en het gemiddelde verhang ( $\bar{i}$ ) met standaardafwijking ( $\sigma_{\bar{i}}$ ). Wel is duidelijk dat rekening moet worden gehouden met een "maximum" verhang van 0,004 in de richting evenwijdig aan de as van de stormvloedkering (berekend in de raai op 25 m over een afstand van 45 m) en in de richting loodrecht op de as van de stormvloedkering (berekend tussen de raaien op 25 m en 80 m afstand van de as). Dit verhang neemt in beide richtingen af en wel tot 0,002 (berekend in de raai op 150 m over een afstand van 45 m) en 0,003 (berekend tussen de raaien op 80 m en 150 m afstand van de as).

## 8. Interpretatie naar getij-omstandigheden

De proeven werden uitgevoerd met een permanente stroming. In het prototype zullen de stroomsnelheden variëren met de tijd. Uit diverse onderzoeken is bekend dat bij een variërende stroomsnelheid ook de frekwentie waarmee de wervels loslaten varieert.

De frekwentie waarmee de wervels loslaten wordt gekenmerkt door het getal van Strouhal:

$$S = \frac{n \cdot D}{v} \quad (4)$$

waarin:

S = getal van Strouhal	(-)
n = frekwentie, waarmee paren van wervels loslaten	(s <sup>-1</sup> )
D = diameter (breedte) van de konstruktie in de vloeistof	(m)
v = stroomsnelheid van de vloeistof in de ongestoorde stroom	(m/s)

De frekwentie n wordt betrokken op elk paar van wervels (dus een linksdraaiende plus een rechtsdraaiende wervel), omdat de wervels aan weerszijden van de konstruktie loslaten.

Bij een turbulent stromingsveld is voor een rechthoekige doorsnede het getal van Strouhal konstant ( $S \approx 0,14$ ), voor een cilinder is  $S \approx 0,2$  (zie S-waarden verzameld voor verschillende profielen in "The role of vortex in the aerodynamic excitation of suspension bridges". Univ. of Washington Engineering, Experimental Station, Bull. 116, part III, appendix III, 1952). Getracht is om ook voor de situatie met 3, 7 en 12 gesloten schuiven een getal van Strouhal te definiëren, zodanig dat ook voor dit specifieke geval een konstante waarde voor S wordt gevonden. Indien dit getal van Strouhal bekend is, dan kan uit de stroomsnelheid de frekwentie van de wervels bepaald worden.

Als stroomsnelheid werd gekozen het quotiënt van het debiet door het sluitgat (Q) en het benedenstroomse oppervlak (A). Als kenmerkende diameter van de konstruktie werd gekozen de wortel uit het produkt van de breedte (B) van het blok gesloten schuiven (met aantal N) en de waterdiepte benedenstrooms van het sluitgat (h):

$$D = \sqrt{B \cdot h} = \sqrt{45 \cdot N \cdot h} \quad (5)$$

Uitgaande van de gegevens uit de tabellen 2 en 3 en een waterdiepte  $h = 30$  m

(midden Roompot) volgt met de definities van (4) en (5) een Strouhal-getal van  $S \approx 0,086$  (zie tabel 9), dat vanwege een verschil in definitie van D een andere waarde heeft dan de in de literatuur bekende waarden.


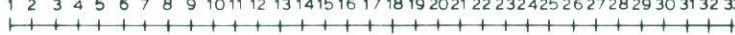


















Hoe de periode van de wervels ( $T = \frac{1}{n}$ ) varieert tijdens het getij kan met behulp van dit Strouhal-getal globaal worden nagegaan. Bijvoorbeeld voor de situatie met 7 gesloten schuiven geldt:

$$T = \frac{D}{v \cdot S} = \frac{97}{0,086} \cdot \frac{1}{v} = \frac{1130}{v}$$

De periodes behorende bij de verschillende stroomsnelheden zijn weergegeven in de getijkromme van figuur 24 (bij  $v = 0$  wordt T oneindig groot en verdwijnt de periodiciteit).

De periodes van de wervels worden kleiner bij toenemende stroomsnelheid en groter bij lagere stroomsnelheden. Beneden stroomsnelheden van circa 0,5 m/s duurt de periode van een wervel zo lang in relatie tot de tijdsduur waarin deze stroomsnelheid optreedt dat een stabiel wervelpatroon zich niet zal instellen. Boven deze "grenssnelheid" van 0,5 m/s varieert T (of n) relatief weinig als functie van de stroomsnelheid, zoals te zien is in het onderste gedeelte van figuur 24.

De in figuur 24 weergegeven snelheidskromme behoort bij gemiddeld springtij, en heeft betrekking op de stroomsnelheid benedenstrooms van de kering.

proefnummer	 pijlers ROOMPOT 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 	bijzonderheden	foto's eb
	T1		
T2,variant 1	R10  R17	2 schuiven half open	2
T3,variant 2	R10  R17	2x2 schuiven 1m open	3
T4,variant 3	R9  R18		4
T4a,variant 4	R10  R17	7 schuiven 1m open	5
T4b,variant 5	R10  R17	2x3 schuiven 1m open	61... 68
T5	R13  R14		7
T6	R12  R15		81...812
T7	R7  R19		9.1...9.7
T8	R1  R10		10
T9	R5  R12		-
T9a,variant 4	R5  R12	7 schuiven 1m open	11.1...11.7
T10	R22  R29		-
T10a,variant 4	R22  R29	7 schuiven 1m open	12
T11	R16  R23		-
T11a,variant 4	R16  R23	7 schuiven 1m open	13
T3,variant 5	H5  H12	2x3 schuiven 1m open	14
	  pijlers Hammen	uitsluitend van proef T4b ook foto's bij vloed in dit verslag opgenomen (15.1..... 15.7)	

Tabel 1 Overzicht onderzochte situaties met gesloten schuiven in de Roompot en de Hammen

proef- nummer	debiet (m <sup>3</sup> / s)	beneden- waterstand (m)	doorstroom- oppervlak benedenstroms (m <sup>2</sup> )	periode (s)	breedte wervel links-om (m)	plaats kern vanuit as (m)	breedte wervel rechts-om (m)	plaats kern vanuit as (m)
Roompot								
T1	32.880	-1,18	36.790	1250	350	225	350	250
T2	32.880	-1,18	36.790	1250	350	275	325	225
T3	32.880	-1,18	36.790	1250	300	225	300	275
T4	32.880	-1,18	36.790	1250	250	250	250	275
T4a	32.880	-1,18	36.790	1250	300	300	350	300
T4b	32.880	-1,18	36.790	1250	375	275	325	300
T5	32.880	-1,18	36.790	(*)	100	150	100	150
T6	32.880	-1,18	36.790	720-980	200	300	350	300
T7	28.540	-1,23	36.705	2140 (**)	200	675	400	325
T8	32.880	-1,18	36.790		700	575	niet aanwezig	
T9	32.880	-1,18	36.790	1130	250	350	250	300
T9a	32.880	-1,18	36.790	1070	250	550	200	250
T10	32.880	-1,18	36.790	980	250	350	250	425
T10a	32.880	-1,18	36.790	max.1070	100	575	250	450
T11	32.880	-1,18	36.790	1160	325	300	325	275
T11a	32.880	-1,18	36.790	1250	300	350	250	375
Hammen								
T3	6.660	-0,82	14.190	(*)	200	200	200	500

\*) moeilijk te bepalen

\*\*) 2 maal periode linksdraaiende wervel

Tabel 2 Karakteristieke grootheden van het stroombeeld bij eb

proef- nummer	debiet $\text{m}^3/\text{s}$	beneden- waterstand (m)	doorstroom- oppervlak benedenstroms $\text{m}^2$	periode (s)	breedte wervel links-om (m)	plaats kern vanuit as (m)	breedte wervel rechts-om (m)	plaats kern vanuit as (m)
Roompot								
T1	42.760	+0,50	42.805	1070	350	225	300	225
T2	42.760	+0,50	42.805	1070	275	225	250	225
T3	42.760	+0,50	42.805	1070	325	275	300	250
T4	42.760	+0,50	42.805	1130	300	275	300	300
T4a	42.760	+0,50	42.805	1130	350	300	300	250
T4b	42.760	+0,50	42.805	1070	350	350	300	350
T5	42.760	+0,50	42.805	(*)	100	125	100	125
T6	42.760	+0,50	42.805	720	200	200	200	225
T7	37.400	+0,38	42.602	1610	400	575	400	675
T8	42.760	+0,50	42.805	1070	niet aanwezig	niet aanwezig	150	700
T9	42.760	+0,50	42.805	1070	niet aanwezig	niet aanwezig	300	550
T9a	42.760	+0,50	42.805	1070	niet aanwezig	niet aanwezig	300	600
T10	42.760	+0,50	42.805	1070	275	400	325	375
T10a	42.760	+0,50	42.805	1070	250	450	300	375
T11	42.760	+0,50	42.805	1070	300	375	300	375
T11a	42.760	+0,50	42.805	1070	300	325	325	325

\*) moeilijk te bepalen

Tabel 3 Karakteristieke grootheden van het stroombeeld bij vloed

raai	meet- punt	stroomsnelheid in x-richting						stroomsnelheid in y-richting					
		$\bar{u}$	$\sigma_u$	$\hat{u}$	$\sigma_{\hat{u}}$	$\bar{T}_u$	$\sigma_{T_u}$	$\bar{v}$	$\sigma_v$	$\hat{v}$	$\sigma_{\hat{v}}$	$\bar{T}_v$	$\sigma_{T_v}$
85	1	-0,044	0,465	0,552	0,336	810	421	0,178	0,348	0,349	0,339	355	304
	2	-0,105	0,577	0,586	0,480	657	468	-0,256	0,481	0,613	0,439	565	465
	3	0,003	0,654	0,649	0,469	772	483	-0,733	0,331	0,327	0,767	325	250
	4	0,062	0,836	1,006	0,594	712	423	-1,136	0,399	0,493	1,257	381	247
	5	0,113	1,056	1,270	0,902	814	377	-0,606	0,544	0,397	0,556	409	621
	6	-0,047	1,111	1,838	0,199	1097	142	0,273	0,423	0,343	0,469	352	300
86	1	0,287	0,263	0,254	0,349	269	231	0,936	0,425	0,279	1,086	215	235
	2	0,268	0,274	0,266	0,345	264	211	0,300	0,438	0,329	0,546	324	309
	3	0,442	0,332	0,347	0,527	282	215	0,205	0,649	0,565	0,584	598	463
	4	0,223	0,430	0,440	0,416	470	412	0,636	0,899	1,185	0,721	1008	391
	5	-0,405	0,785	0,796	0,722	639	454	0,878	0,777	0,979	0,925	777	483
	6	-0,032	0,684	0,923	0,413	956	414	1,052	0,797	0,943	1,207	879	446
87	1	0,026	0,367	0,390	0,307	466	379	1,256	0,608	0,622	1,206	744	448
	2	0,341	0,417	0,386	0,480	379	326	1,168	0,881	1,277	1,224	1131	292
	3	0,015	0,881	1,243	0,622	1007	332	0,693	0,598	0,833	0,887	866	411
88	1	0,078	0,301	0,268	0,266	299	247	1,034	0,597	0,631	1,111	663	661
89	1	0,249	0,361	0,328	0,389	465	392	0,931	0,651	0,700	1,017	649	520

10 1 0,287 0,263 0,254 0,349 269 231 0,936 0,425 0,279 1,086 215 235

Tabel 4 Stroomgegevens 3,2 m onder oppervlak (filter 0,01 Hz),  
7 schuiven gesloten tussen R10-R17

raai	meet-punt	stroomsnelheid in x-richting						stroomsnelheid in y-richting					
		$\bar{u}$	$\sigma_u$	$\hat{u}$	$\sigma_{\hat{u}}$	$\bar{T}_u$	$\sigma_{\bar{T}_u}$	$\bar{v}$	$\sigma_v$	$\hat{v}$	$\sigma_{\hat{v}}$	$\bar{T}_v$	$\sigma_{\bar{T}_v}$
85	1	-0,035	0,611	0,658	0,455	679	419	-0,282	0,209	0,237	0,306	273	197
	2	-0,011	0,845	0,914	0,610	804	456	-0,297	0,279	0,304	0,370	274	193
	3	0,067	1,081	1,470	0,472	1035	359	-0,563	0,405	0,412	0,683	370	309
	4	-0,089	1,035	1,662	0,467	1033	363	-0,968	0,483	0,498	1,076	377	341
	5	-0,099	1,218	1,901	0,489	1099	191	-0,344	0,470	0,334	0,356	330	294
	6	-0,048	1,034	1,534	0,154	1062	231	0,405	0,247	0,243	0,454	306	250
86	1	0,366	0,261	0,291	0,450	325	227	-0,111	0,339	0,338	0,292	495	407
	2	0,479	0,273	0,280	0,542	316	279	0,093	0,322	0,291	0,293	356	274
	3	0,511	0,313	0,344	0,575	320	246	0,244	0,513	0,661	0,446	673	489
	4	-0,218	0,746	0,887	0,748	740	514	0,894	0,934	1,146	0,877	826	456
	5	-0,380	0,772	0,993	0,632	788	431	1,073	0,793	0,993	1,172	698	453
	6	-0,090	0,666	0,764	0,537	793	452	0,784	0,729	0,937	1,094	760	416
87	1	-0,118	0,303	0,359	0,266	584	440	0,959	0,419	0,491	0,951	844	473
	2	-0,166	0,496	0,511	0,411	624	500	0,950	0,561	0,681	0,971	876	439
	3	-0,071	0,883	1,217	0,412	983	361	0,468	0,490	0,509	0,691	592	437

Tabel 5 Stroomgegevens  $1/3$  h boven bodem (filter 0,01 Hz),  
7 schuiven gesloten tussen R10-R17



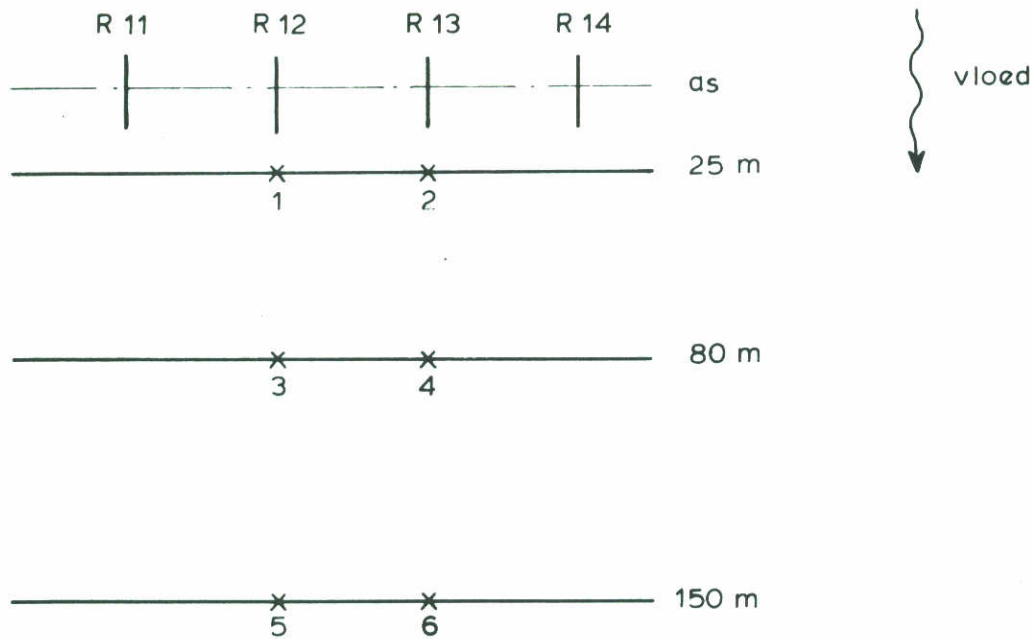
raai	meet- punt	stroomsnelheid in x-richting						stroomsnelheid in y-richting					
		$\bar{u}$	$\sigma_u$	$\hat{u}$	$\sigma_{\hat{u}}$	$\bar{T}_u$	$\sigma_{\bar{T}_u}$	$\bar{v}$	$\sigma_v$	$\hat{v}$	$\sigma_{\hat{v}}$	$\bar{T}_v$	$\sigma_{\bar{T}_v}$
85	1	0,010	0,674	0,560	0,706	415	408	-0,379	0,249	0,189	0,452	77	86
	2	-0,004	0,634	0,568	0,641	472	489	-0,254	0,300	0,189	0,352	106	140
	3	0,011	0,526	0,669	0,503	194	116	0,022	0,425	0,455	0,405	154	117
	4	-0,129	0,958	0,598	0,993	227	311	-1,184	0,516	0,353	1,260	67	103
	5	-0,108	0,825	0,803	0,791	436	449	-0,831	0,552	0,329	1,109	81	150
	6	-0,136	0,788	0,969	0,830	650	493	0,163	0,364	0,267	0,368	146	183
86	1	0,371	0,255	0,202	0,463	50	70	-0,072	0,379	0,306	0,375	166	226
	2	0,426	0,315	0,195	0,509	73	104	-0,005	0,286	0,146	0,214	107	169
	3	0,383	0,311	0,214	0,469	94	113	0,341	0,389	0,216	0,480	133	202
	4	-0,439	0,669	0,350	0,859	133	215	0,875	0,770	0,509	1,233	176	274
	5	-0,583	0,532	0,301	0,713	112	154	0,878	0,634	0,398	1,124	137	192
	6	-0,343	0,580	0,385	0,601	217	308	0,724	0,626	0,355	0,928	131	193
87	1	-0,116	0,214	0,145	0,212	92	129	0,572	0,342	0,172	0,657	105	184
	2	-0,203	0,374	0,261	0,409	164	221	0,718	0,488	0,257	0,848	174	266
	3	-0,186	0,734	0,693	0,875	498	535	0,314	0,461	0,344	0,537	219	270

$\bar{u}$  0,010 0,674 0,560 0,706 415 408 -0,379 0,249 0,189 0,452 77 86  
 $\sigma_u$  0,634 0,526 0,669 0,503 194 116 0,022 0,425 0,455 0,405 154 117  
 $\hat{u}$  0,568 0,669 0,503 0,993 227 311 -1,184 0,516 0,353 1,260 67 103  
 $\sigma_{\hat{u}}$  0,641 0,503 0,993 0,791 436 449 -0,831 0,552 0,329 1,109 81 150  
 $\bar{T}_u$  472 489 0,163 0,364 0,267 0,368 146 183  
 $\sigma_{\bar{T}_u}$  489 493 0,163 0,364 0,267 0,368 146 183  
 $\bar{v}$  -0,072 0,379 0,306 0,375 166 226  
 $\sigma_v$  0,286 0,146 0,214 107 169  
 $\hat{v}$  0,341 0,389 0,216 0,480 133 202  
 $\sigma_{\hat{v}}$  0,770 0,509 1,233 176 274  
 $\bar{T}_v$  0,878 0,634 0,398 1,124 137 192  
 $\sigma_{\bar{T}_v}$  0,626 0,355 0,928 131 193

Tabel 6 Stroomgegevens 2,4 m boven bodem (filter 0,1 Hz),  
situatie 7 schuiven gesloten tussen R10-R17

raai	meet- punt	stroomsnelheid in x-richting						stroomsnelheid in y-richting					
		$\bar{u}$	$\sigma_u$	$\hat{u}$	$\sigma_{\hat{u}}$	$\bar{T}_u$	$\sigma_{\bar{T}_u}$	$\bar{v}$	$\sigma_v$	$\hat{v}$	$\sigma_{\hat{v}}$	$\bar{T}_v$	$\sigma_{\bar{T}_v}$
85	1	-0,046	0,613	0,463	0,583	354	384	-0,281	0,234	0,172	0,340	59	71
	2	-0,007	0,844	0,877	0,980	548	505	-0,294	0,300	0,223	0,370	91	114
	3	0,076	1,074	0,864	0,977	398	479	-0,555	0,435	0,269	0,694	84	145
	4	-0,093	1,052	1,372	1,059	642	462	-0,951	0,543	0,372	1,083	89	144
	5	-0,131	1,219	1,126	1,347	473	468	-0,320	0,507	0,332	0,323	69	122
	6	-0,058	1,027	1,408	0,782	773	458	0,407	0,270	0,211	0,472	85	118
86	1	0,359	0,281	0,210	0,477	52	77	-0,109	0,352	0,229	0,309	163	246
	2	0,467	0,298	0,213	0,548	68	91	0,082	0,345	0,192	0,289	110	157
	3	0,508	0,332	0,237	0,589	81	98	0,247	0,527	0,348	0,547	203	270
	4	-0,204	0,759	0,477	0,752	224	309	0,892	0,947	0,582	1,164	210	297
	5	-0,371	0,790	0,450	0,712	223	289	1,053	0,825	0,528	1,229	178	285
	6	-0,092	0,672	0,669	0,565	455	482	0,772	0,741	0,393	0,965	220	299
87	1	-0,120	0,313	0,192	0,274	119	164	0,959	0,429	0,268	0,991	164	252
	2	-0,171	0,501	0,303	0,431	198	311	0,961	0,575	0,297	1,190	183	278
	3	-0,103	0,882	0,750	0,995	457	483	0,479	0,505	0,326	0,653	179	283

Tabel 7 Stroomgegevens  $1/3$  h boven bodem (filter 0,1 Hz),  
situatie 7 schuiven gesloten tussen R10-R17



meetpunten	$i_{\max}$	$i_{\min}$	$\bar{i}$	$\sigma_{\bar{i}}$
2-1	0,0040	-0,0039	0,0006	0,0009
4-3	0,0023	-0,0025	0,0002	0,0005
6-5	0,0013	-0,0021	-0,0003	0,0004
1-3	0,0026	-0,0021	0,0003	0,0006
3-5	0,0004	-0,0020	-0,0008	0,0003
2-4	0,0035	-0,0015	0,0006	0,0005
4-6	0,0004	-0,0027	-0,0005	0,0003

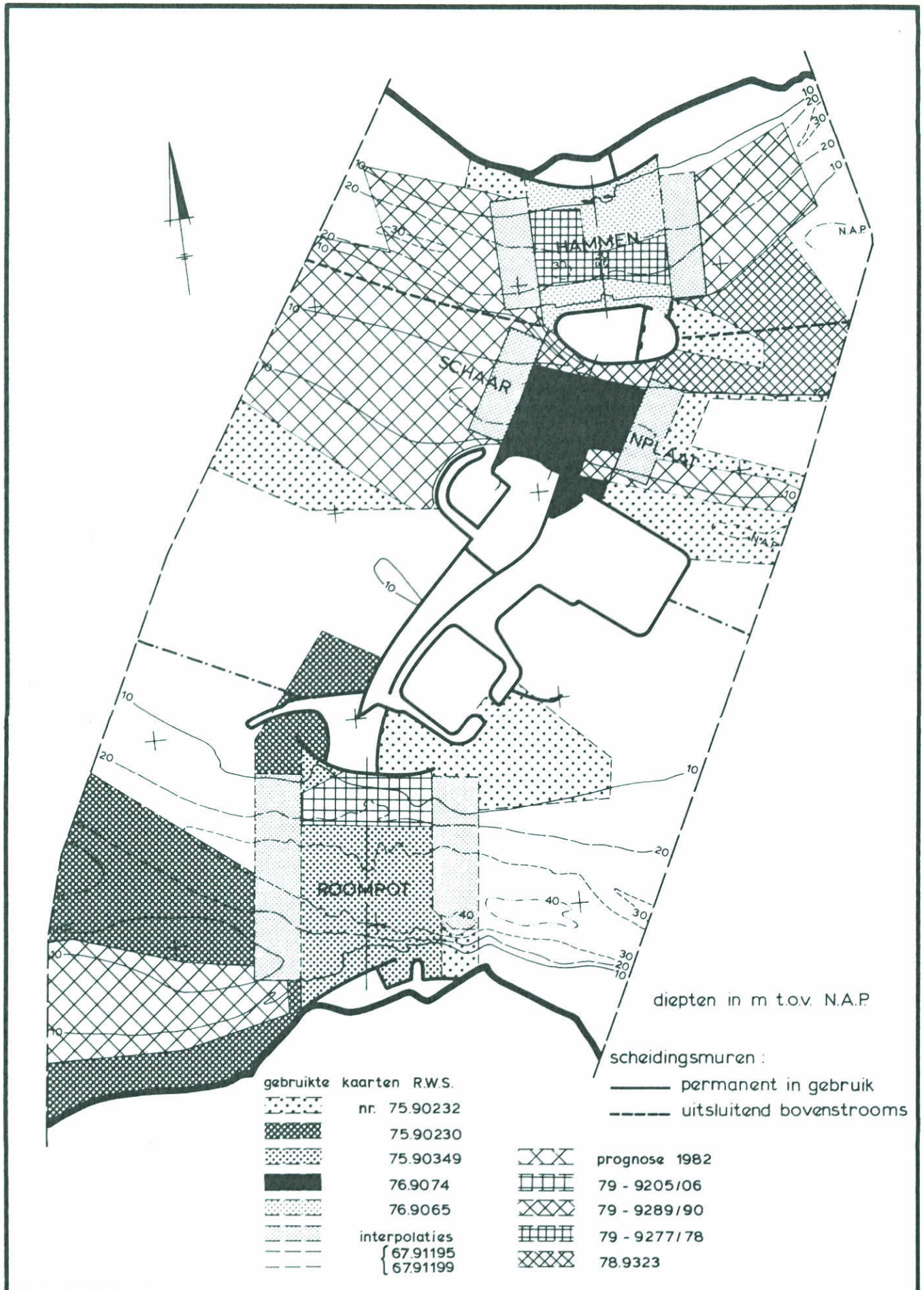
gemeten verhangen

Tabel 8 Gegevens waterspiegelmeting, situatie 7 schuiven gesloten tussen R10-R17

proef- nummer	lokatie gesloten schuiven	debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	doorstroom- oppervlakte A (m <sup>2</sup> )	stroomsnel- heid Q/A (m/s)	aantal gesloten schuiven N	periode T (s)	kenmerkende diameter D (m)	getal van Strouhals (-)
T6, eb	R12...R15	32.880	36.790	0,90	3	850	64	0,083
T1-T4, eb	R10...R17	32.880	36.790	0,90	7	1250	98	0,086
T7, eb	R7...R19	28.540	36.705	0,77	12	2140 (*)	127	0,082
T6,vloed	R12...R15	42.760	42.805	0,99	3	720	64	0,088
T1-T4,vloed	R10...R17	42.760	42.805	0,99	7	1100	98	0,088
T7,vloed	R7...R19	37.400	42.602	0,88	12	1610	127	0,089

\*) 2 maal periode linksdraaiende wervel

Tabel 9 Grootheden ten behoeve van de berekening van het getal van Strouhal



OVERZICHT VAN HET MODELGEBIED

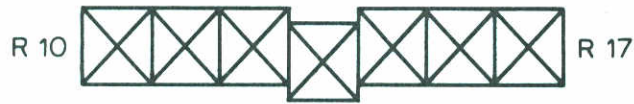
SCHAAL 1: 50.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

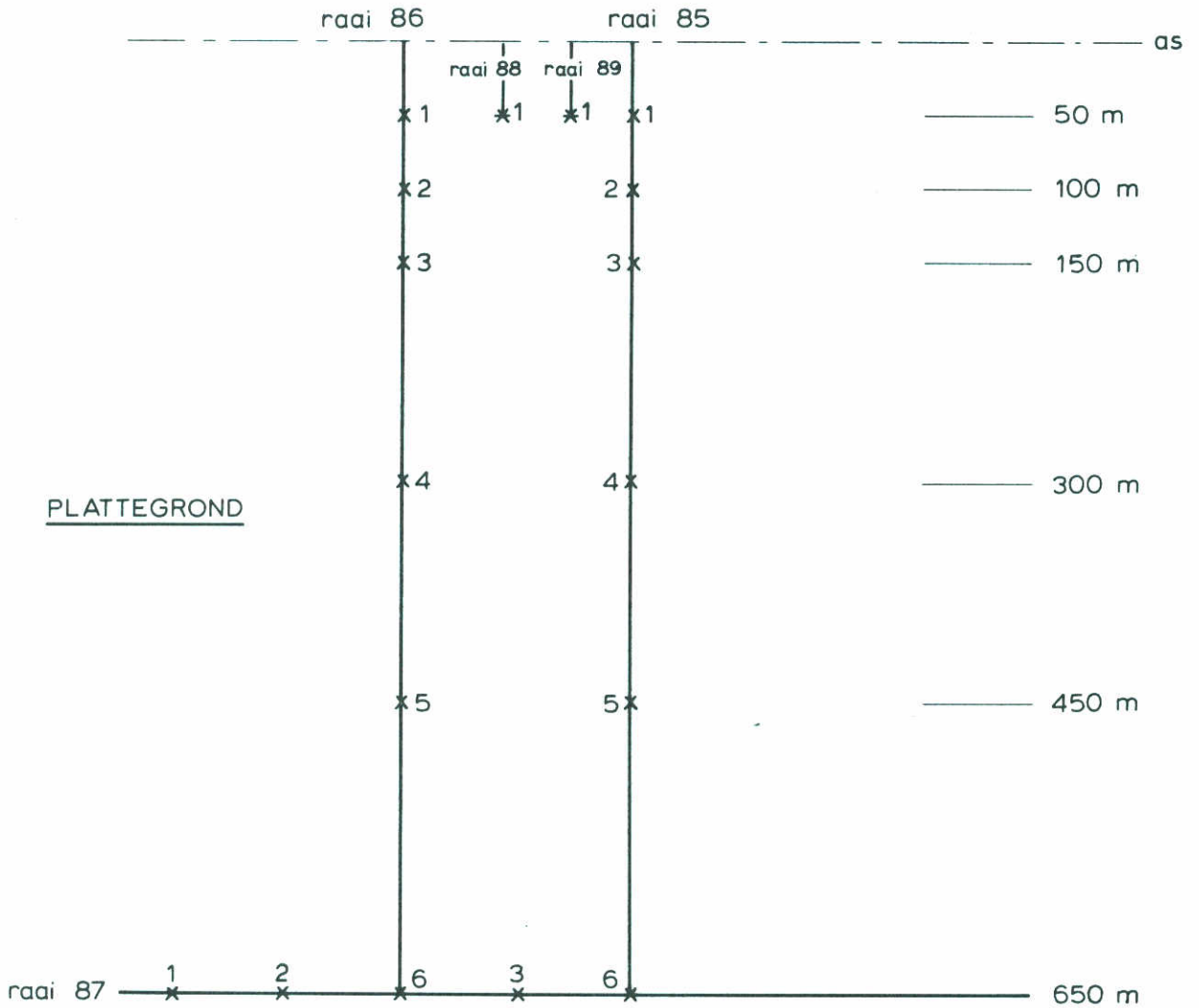
M 1878

FIG. 1

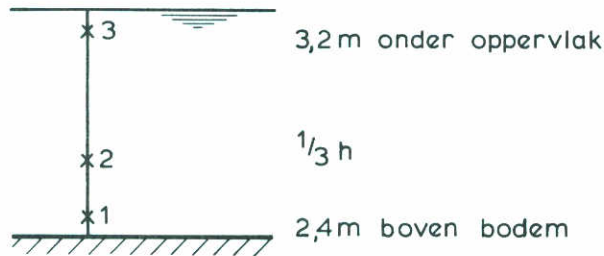
SITUATIE



PLATTEGROND



VERTIKAAL



\* in extra meetraaien 88 en 89 uitsluitend 3,2m onder oppervlak gemeten

MEETPUNTEN STROOMSNELHEIDSMETING

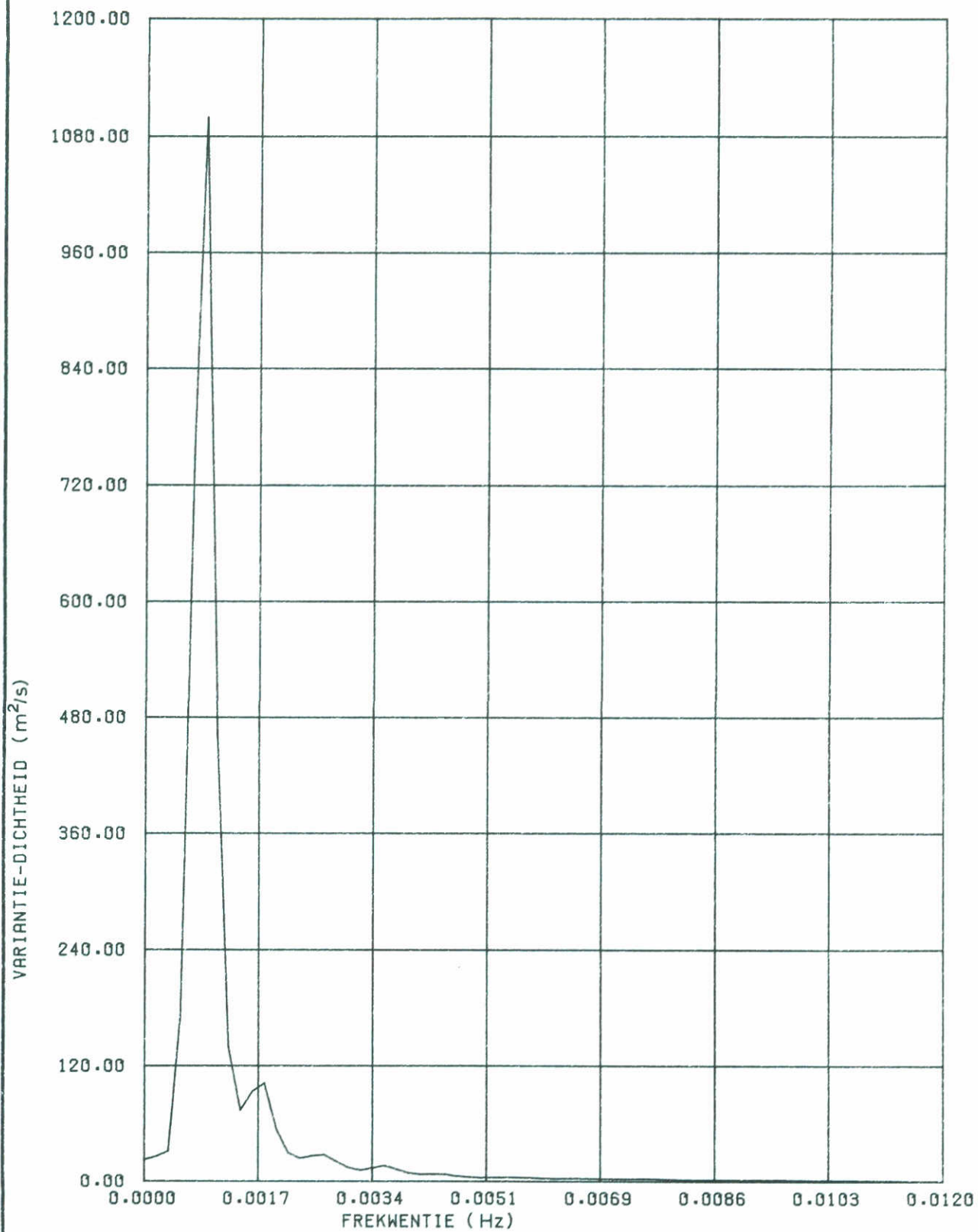
ROOMPOT

VLOED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

FIG. 2



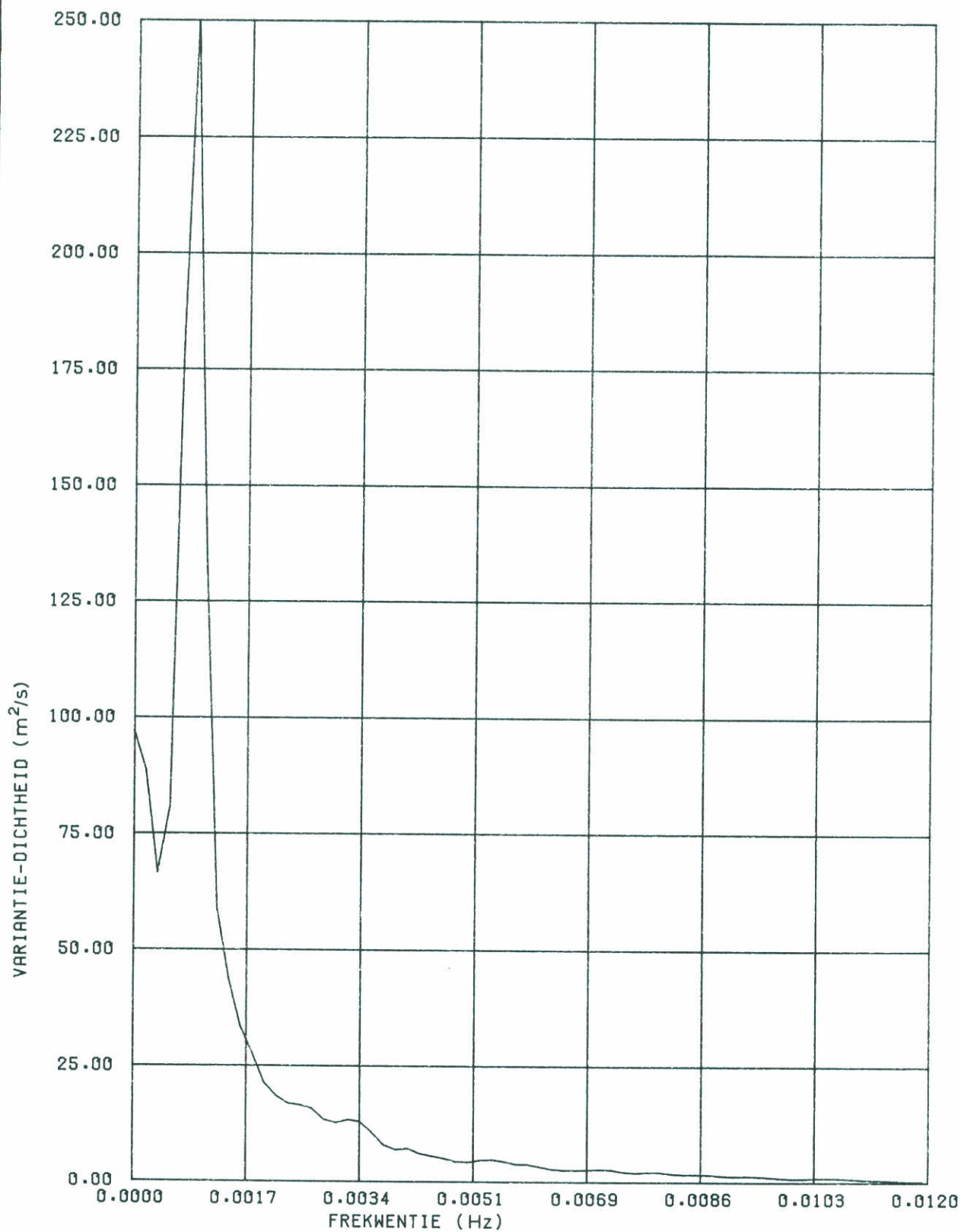
U OP RAAI 86 PUNT 4 (BODEM)

LAGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 3



V OP RAAI 86 PUNT 4 (BODEM)

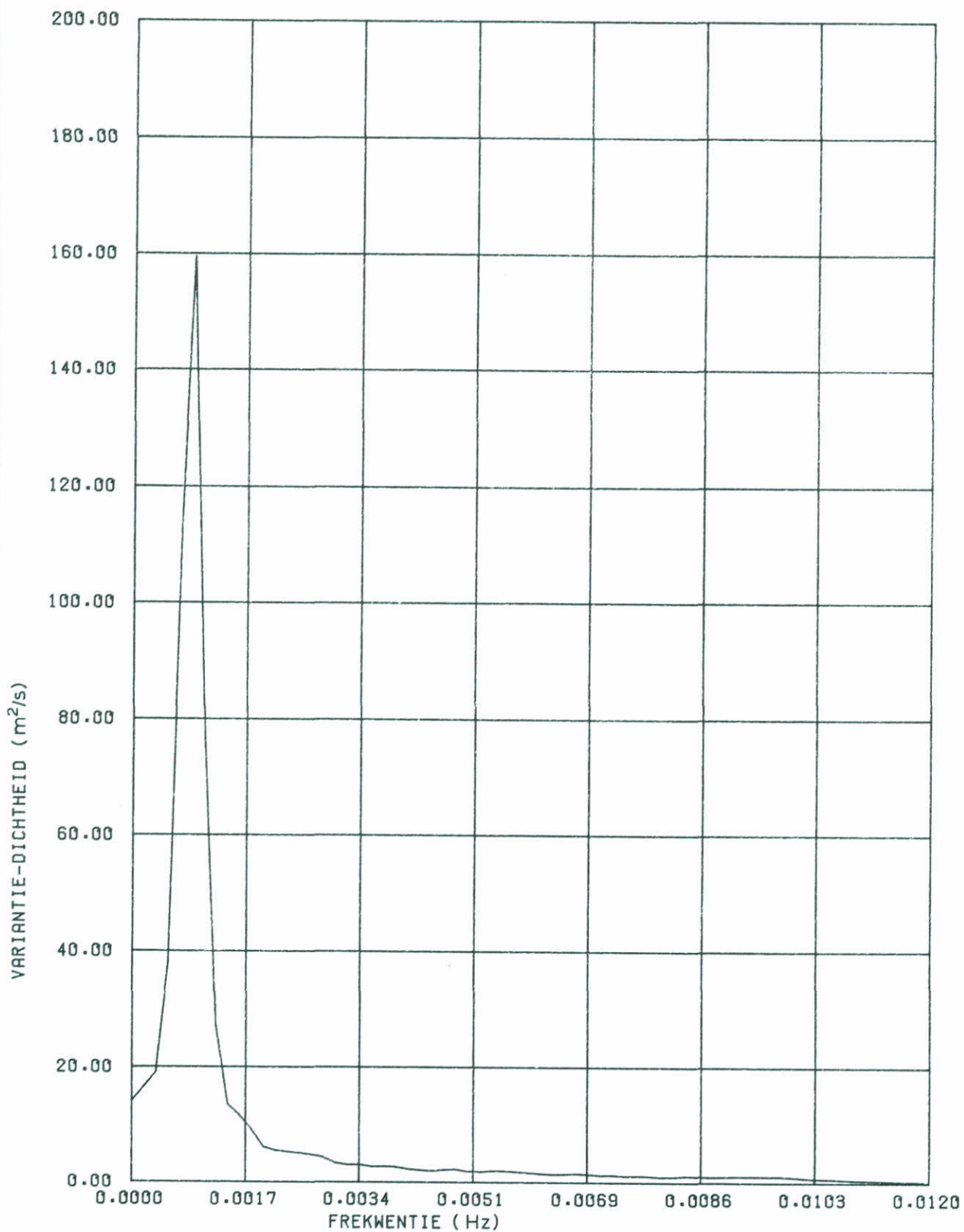
LAGE FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 4





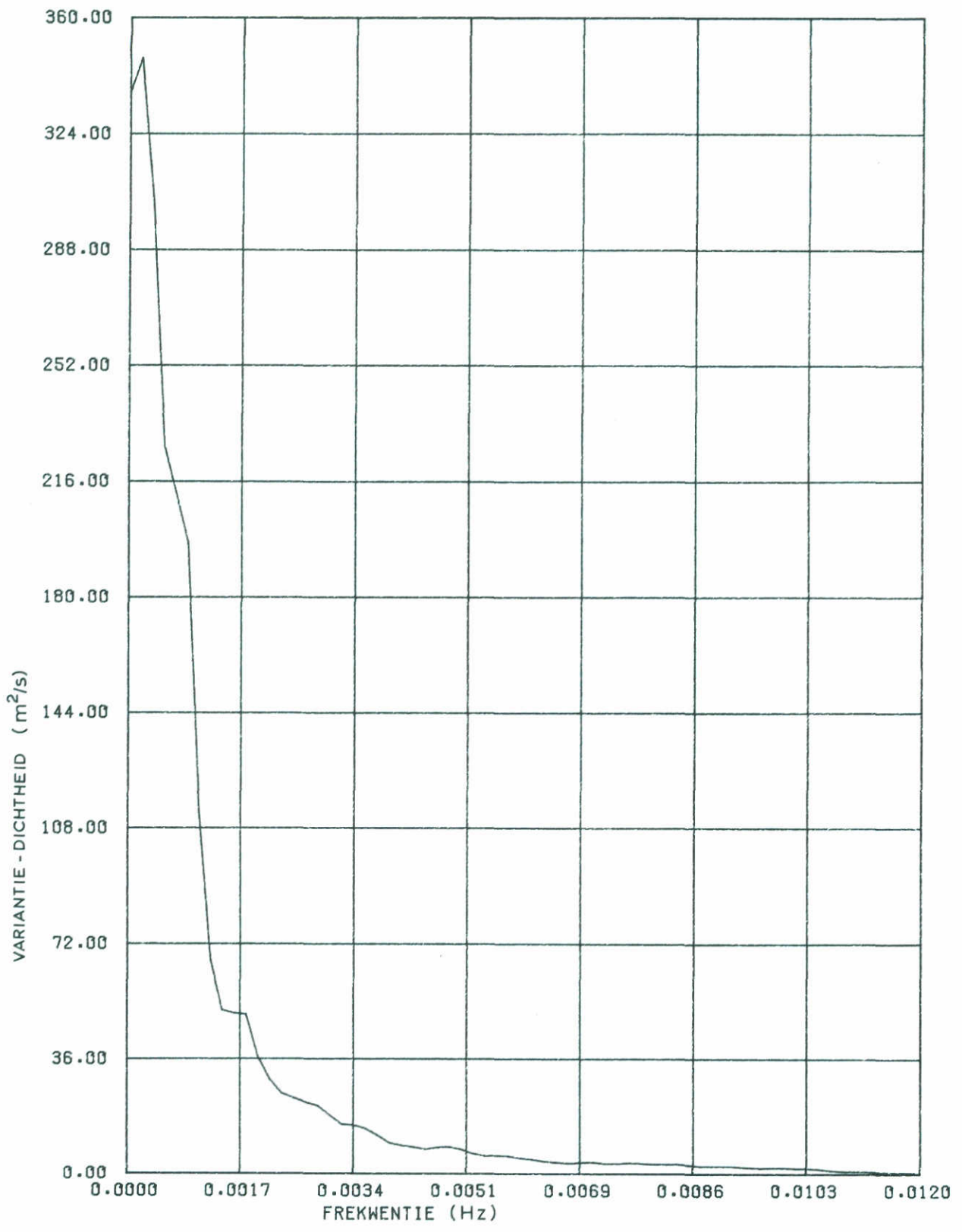
U OP RAAI 89 PUNT 1 (OPPERVLAK)

LAGE FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 5



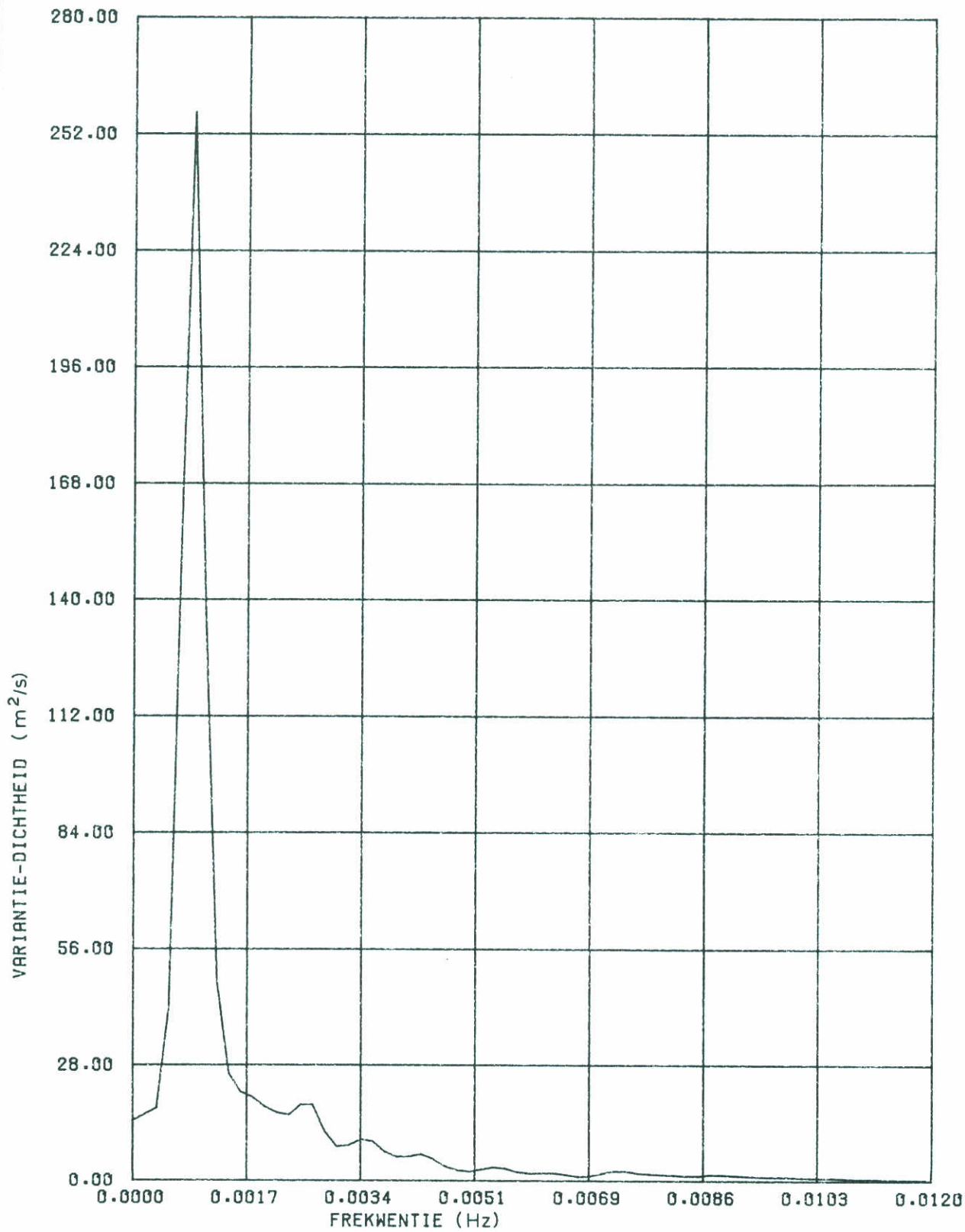
V OP RAAI 89 PUNT 1 (OPPERVLAK)

LAGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 6



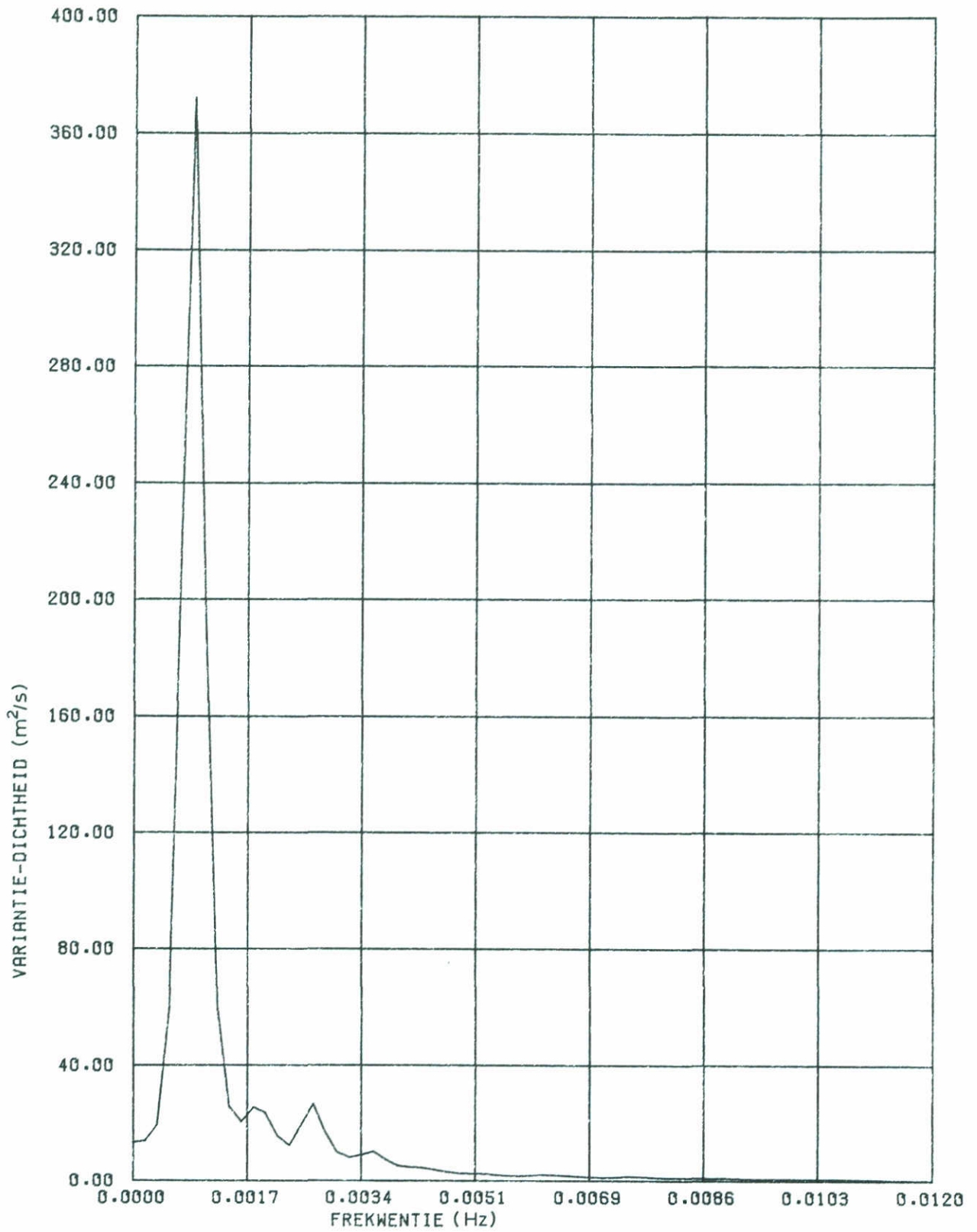
U OP RAAI 85 PUNT 5 (BODEM)

LAGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 7



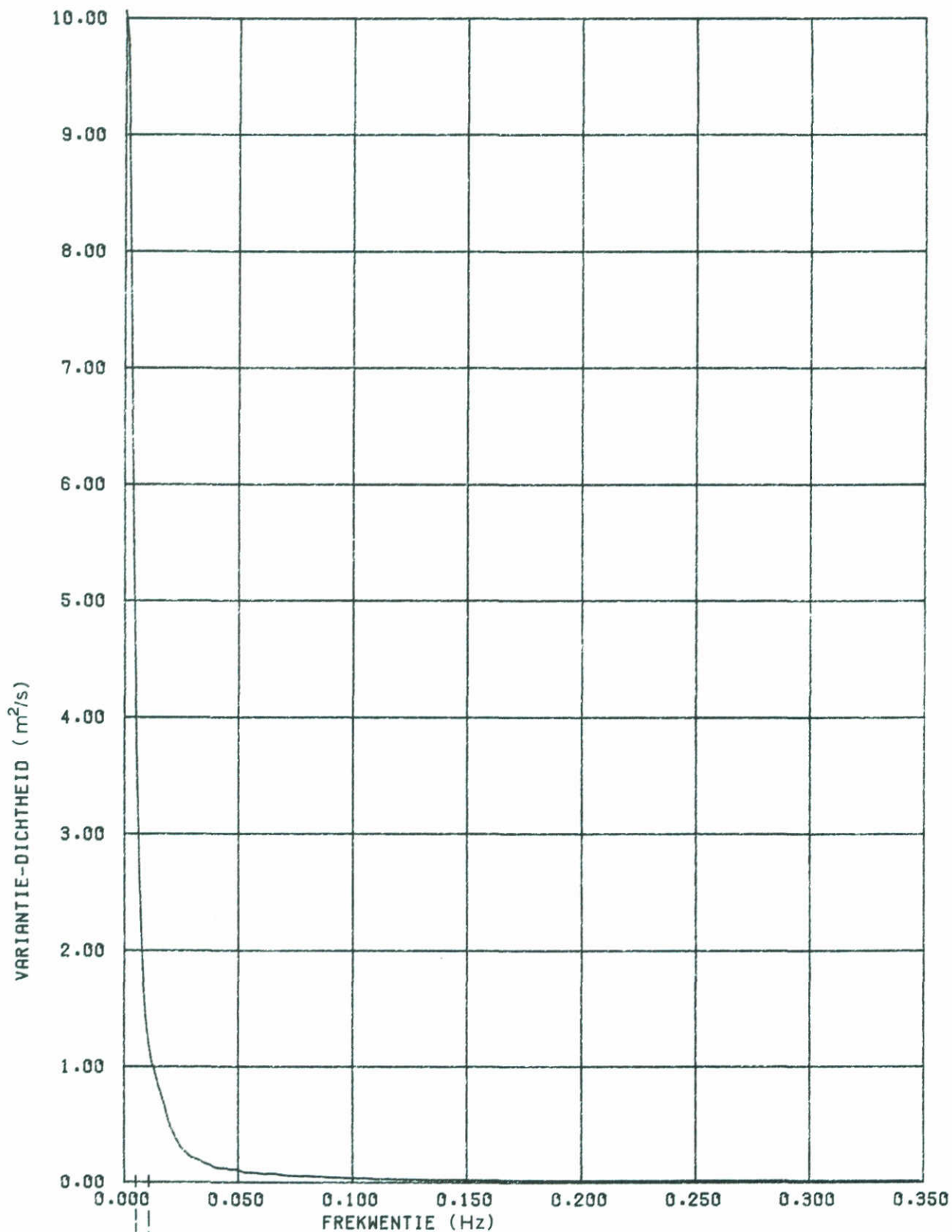
V OP RAAI 85 PUNT 5 (BODEM)

LAGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 8



← 0,011 Hz (filterfrequentie laagfrequentie spectrum)  
 ↳ 0,0056 Hz (filterfrequentie hoogfrequentie spectrum)

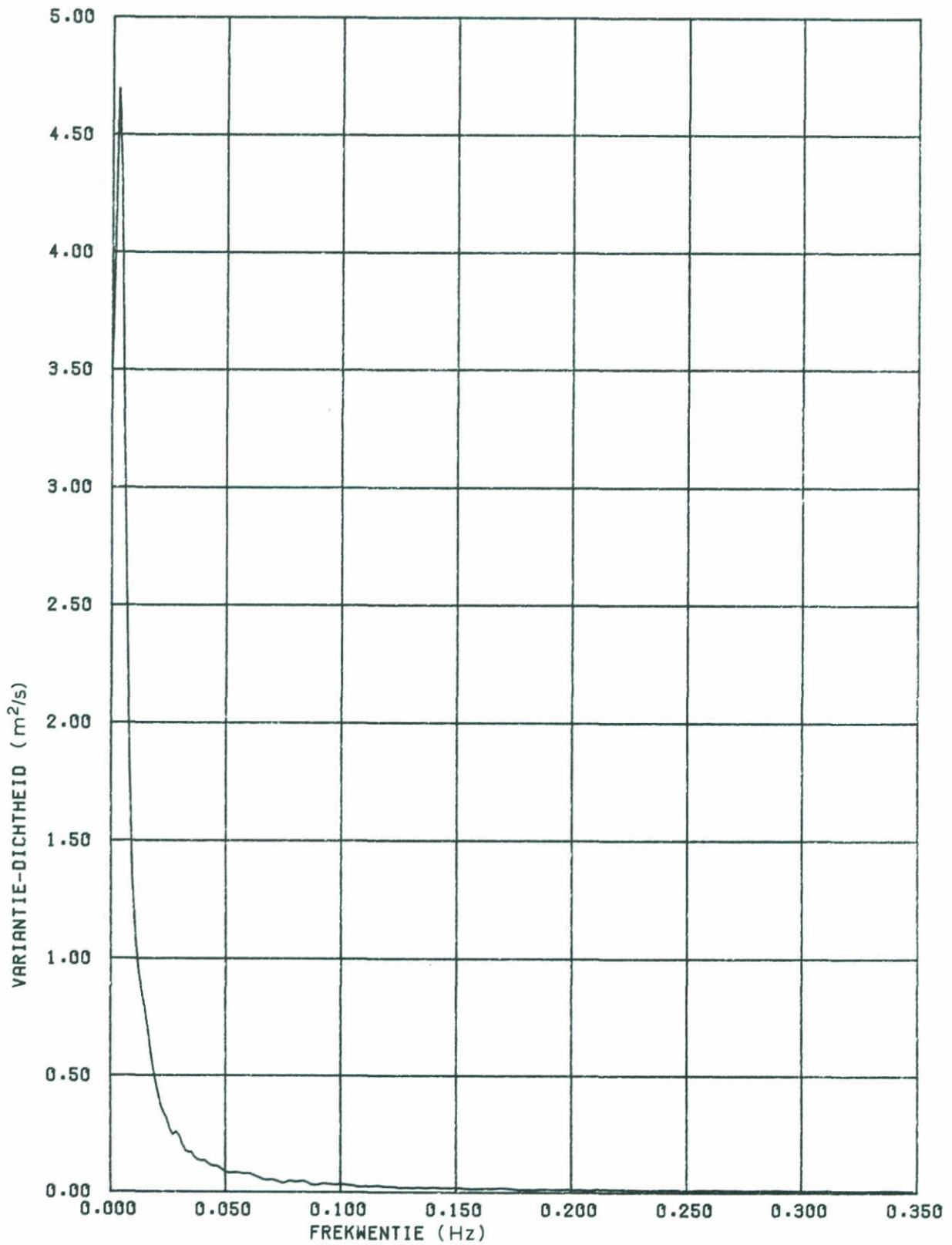
U OP RAAI 86 PUNT 4 (BODEM)

HOGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 9



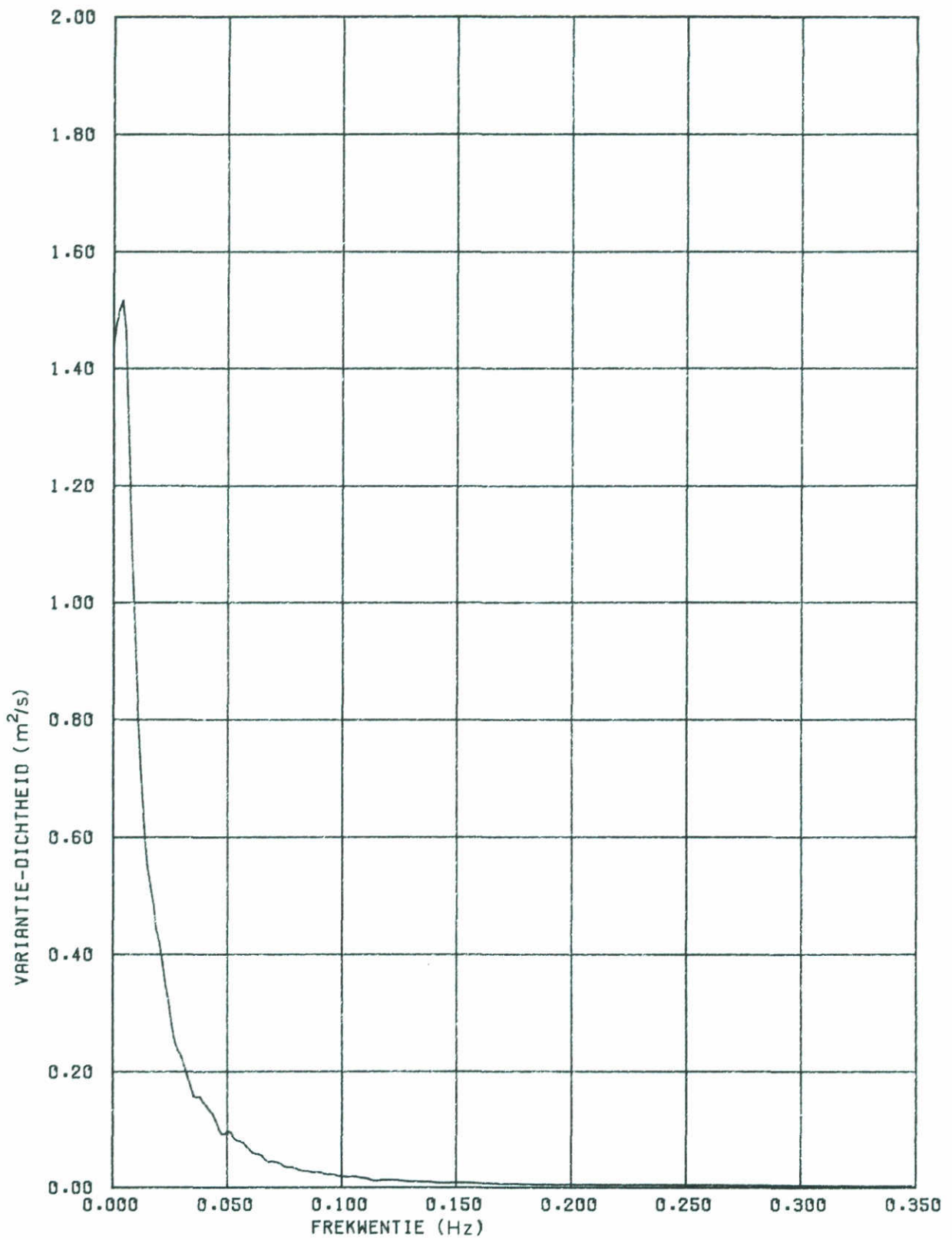
V OP RAAI 86 PUNT 4 (BODEM)

HOGЕ FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 10



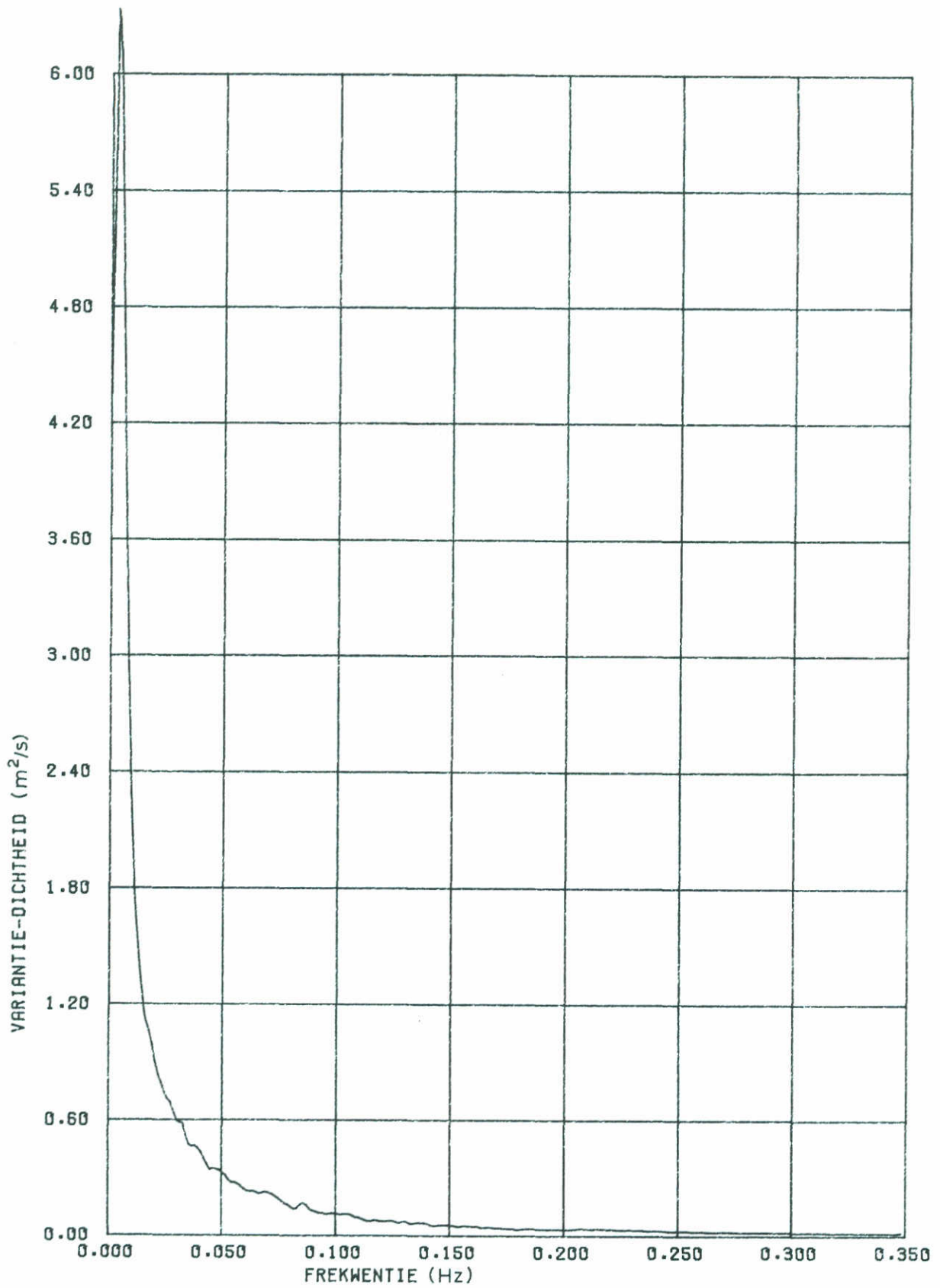
U OP RAAI 89 PUNT 1 (OPPERVLAK)

HOGE FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 11



V OP RAAI 89 PUNT 1 (OPPERVLAK)

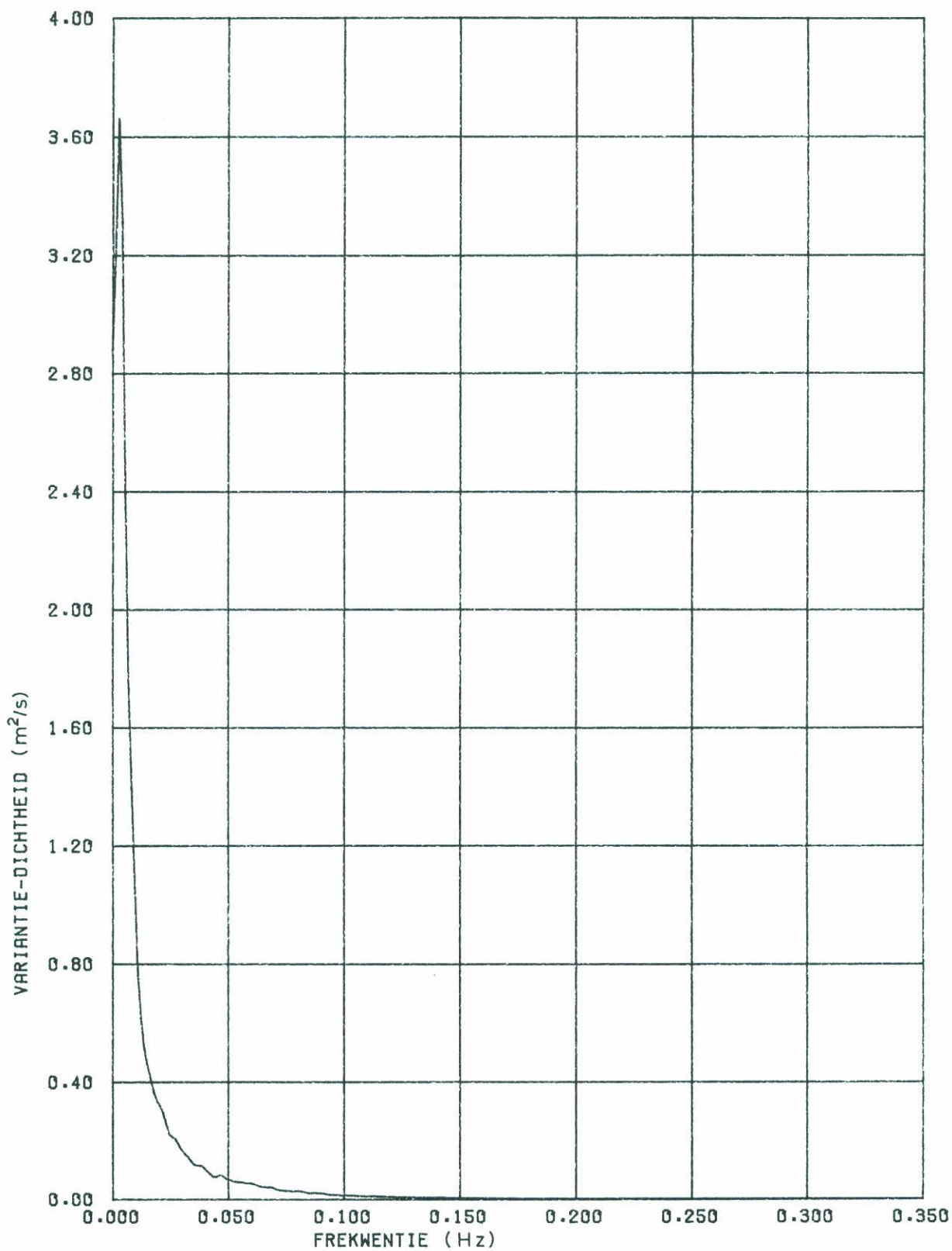
HOGE FREKVENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 12





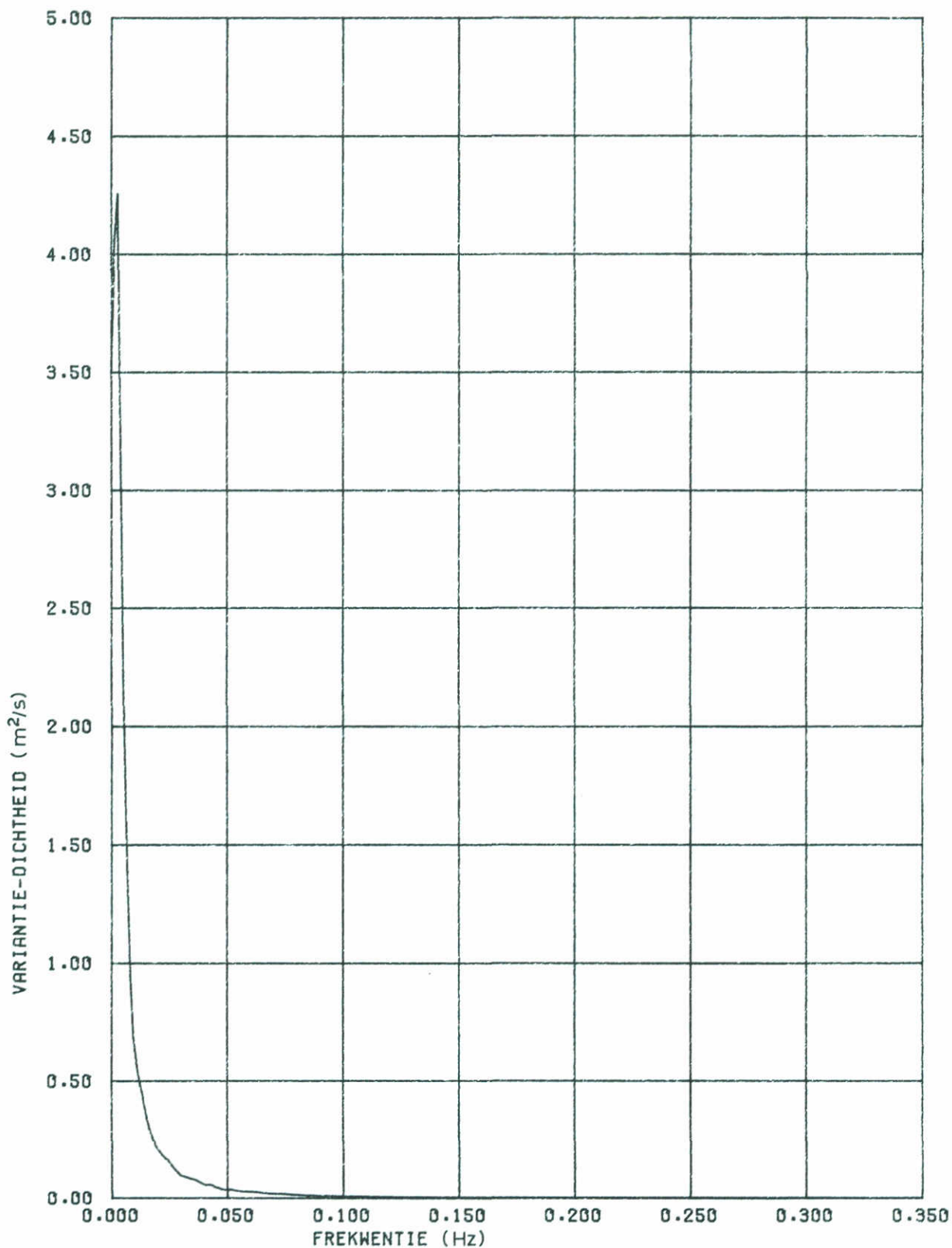
U OP RAAI 85 PUNT 5 (BODEM)

HOGE FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 13



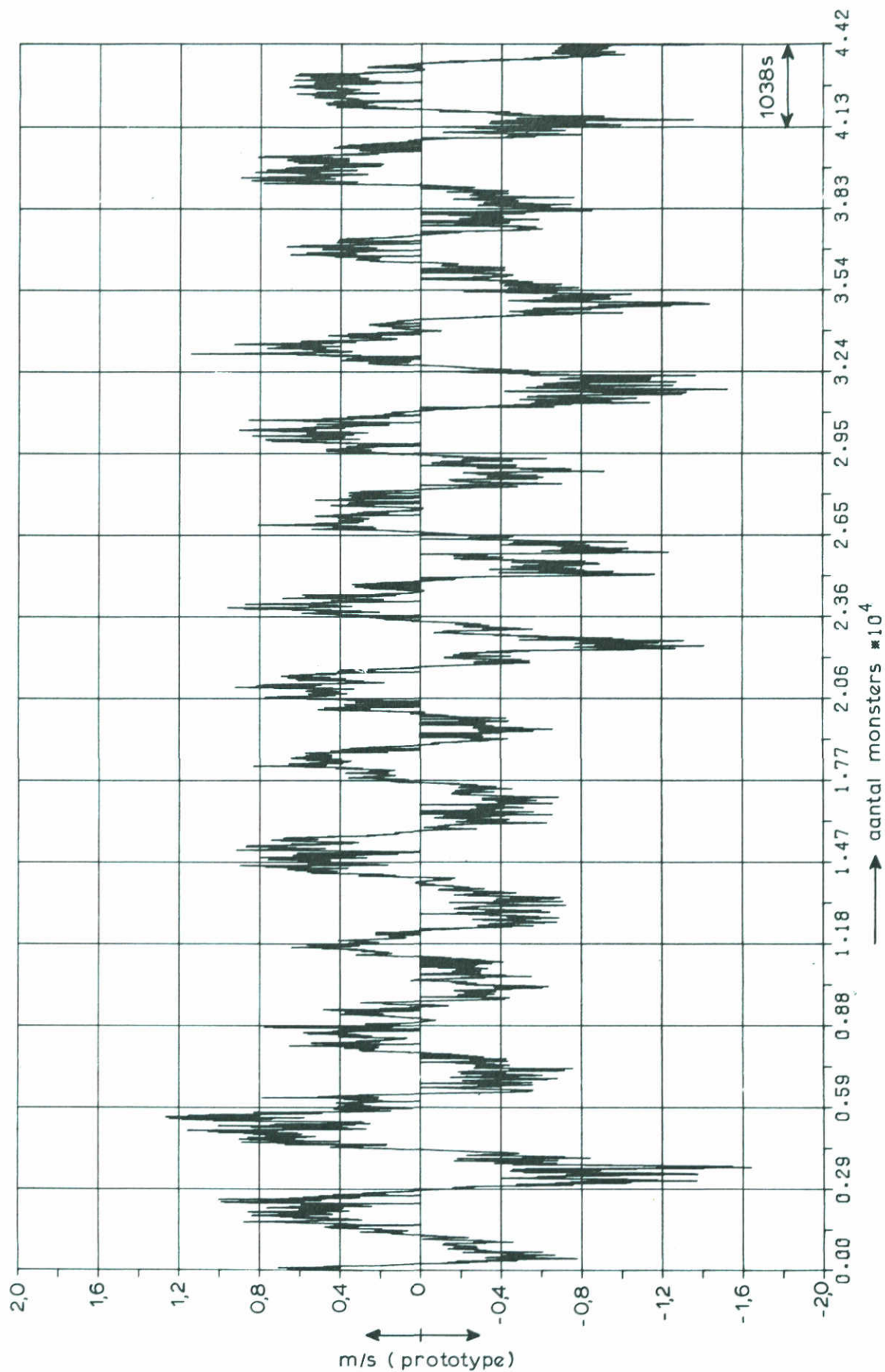
V OP RAAI 85 PUNT 5 (BODEM)

HOGE FREKWENTIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1878

FIG. 14



ONGEFILTERD MEETSIGNAAL VAN DE  
STROOMSNELHEID U

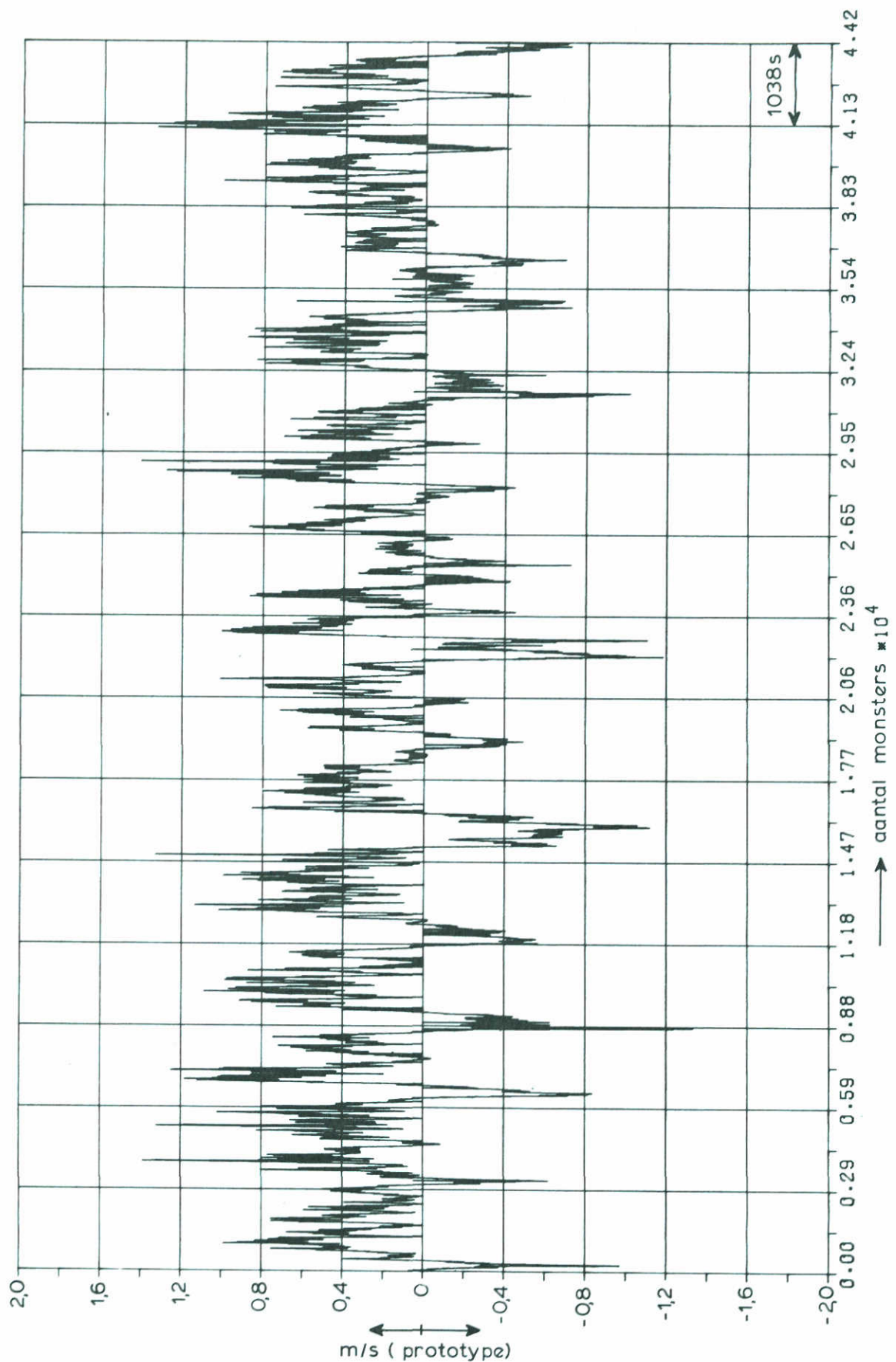
// KERING

RAAI 85, PUNT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

FIG. 15



ONGEFILTERD MEETSIGNAAL VAN DE  
STROOMSNELHEID V

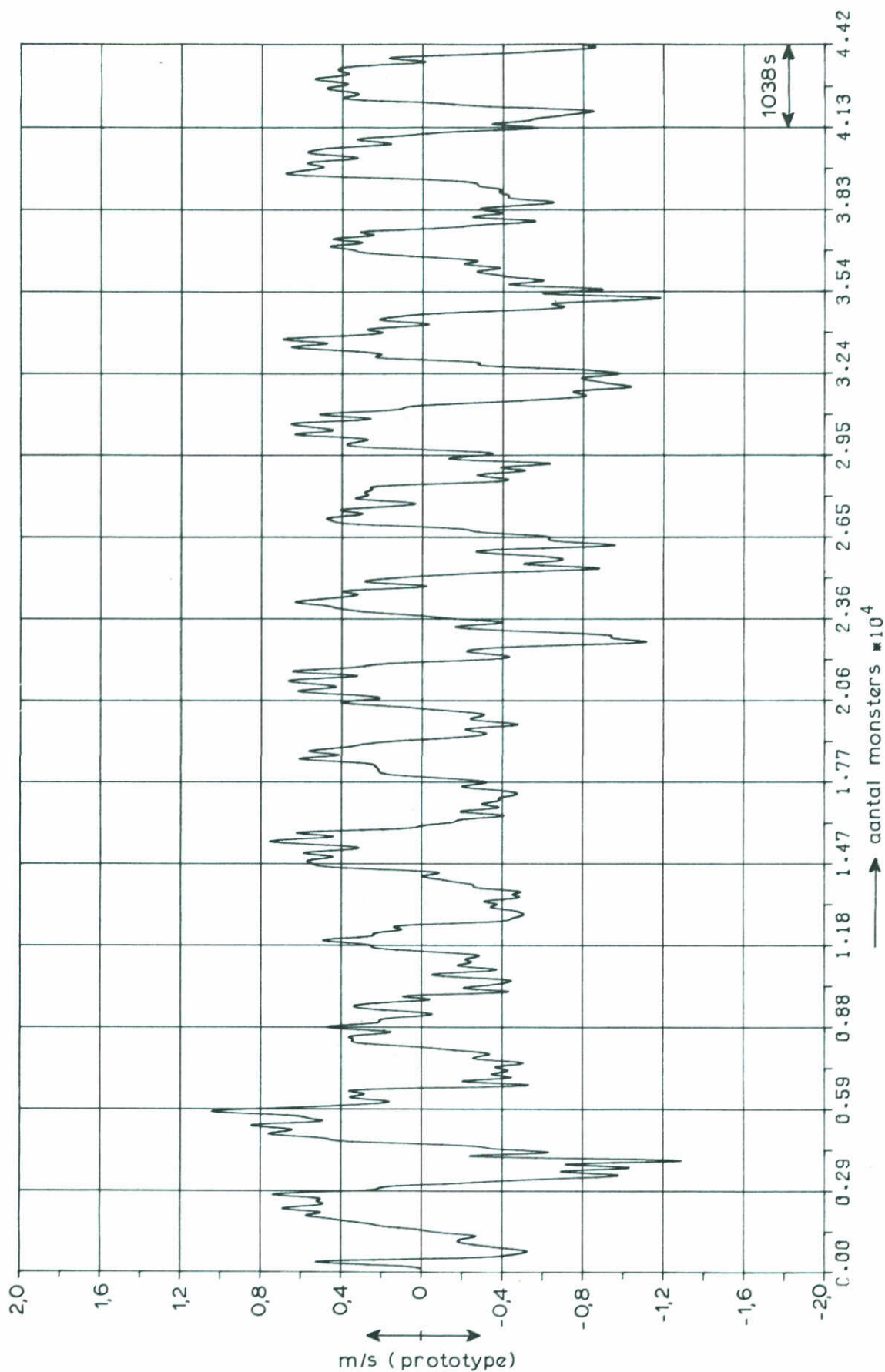
L KERING

RAAI 85, PUNT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

FIG. 16



GEFILTERD MEETSIGNAAL VAN DE STROOMSNELHEID U  
 MET EEN LAAGDOORLAATFILTER VAN 0,01 Hz

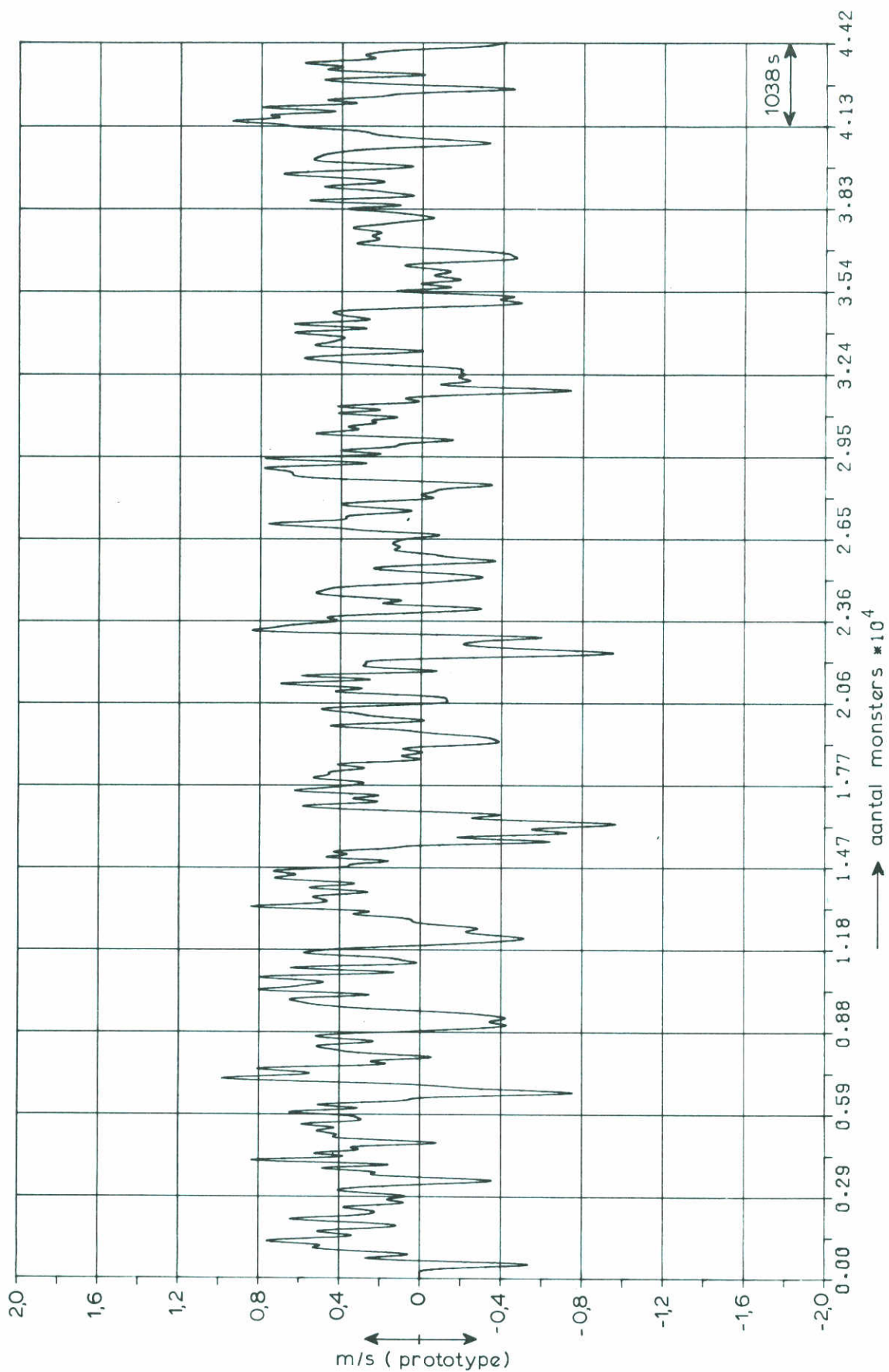
// KERING

RAAI 85, PUNT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

FIG. 17



GEFILTERD MEETSIGNAAL VAN DE STROOMSNELHEID V  
 MET EEN LAAGDOORLAATFILTER VAN 0,01 Hz

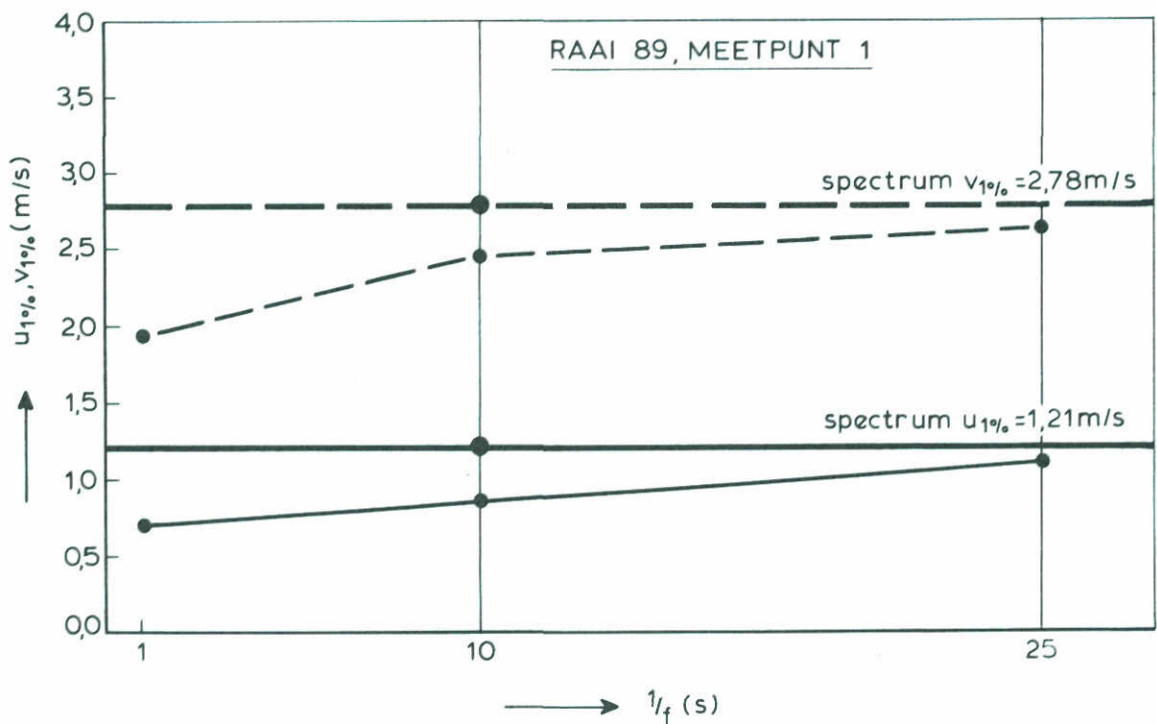
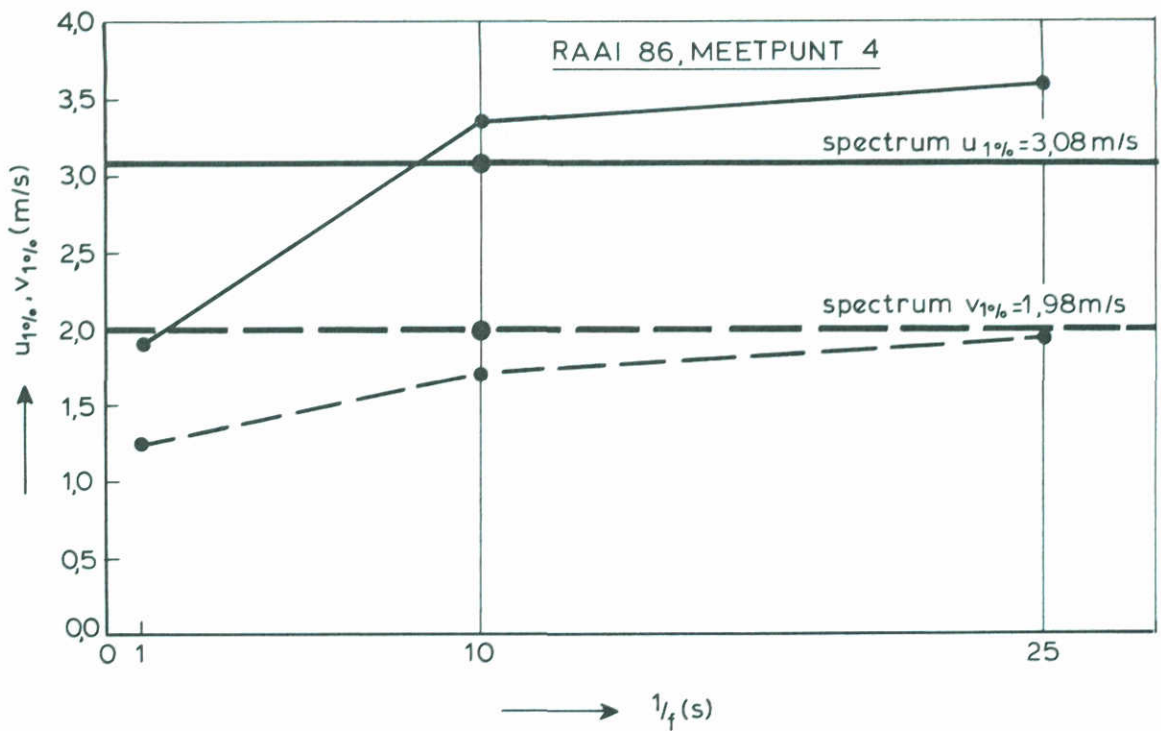
J. KERING

RAAI 85, PUNT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

FIG. 18



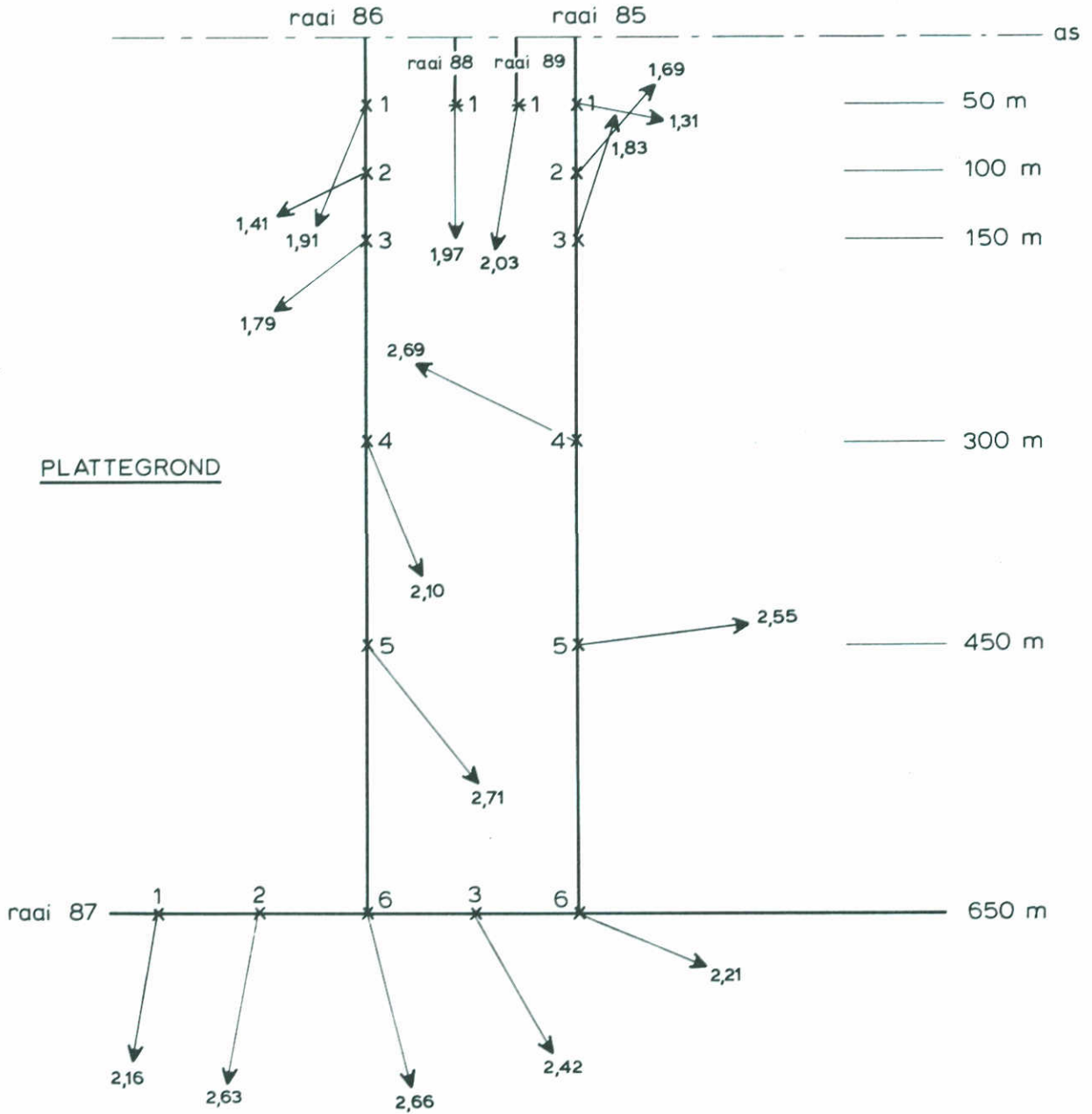
- $\text{---}$  }  $u_{1\%}, v_{1\%}$  berekend uit spectrum met  $u_{1\%} = |\bar{u}| + 3,03\sqrt{m_0}$   
 $\text{---}$  }  $u_{1\%}, v_{1\%}$  berekend uit maxima met  $u_{1\%} = |\bar{u}| + 2,42\bar{u}$

1% OVERSCHRJDINGSWAARDEN VAN DE STROOMSNEL-  
HEID ALS FUNKTIE VAN DE FILTERFREKVENTIES

SITUATIE



PLATTEGROND



GEMETEN MAXIMALE STROOMSNELHEDEN  
3,2 m ONDER OPPERVLAK

ROOMPOT      VLOED

FILTER 0,01 Hz

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

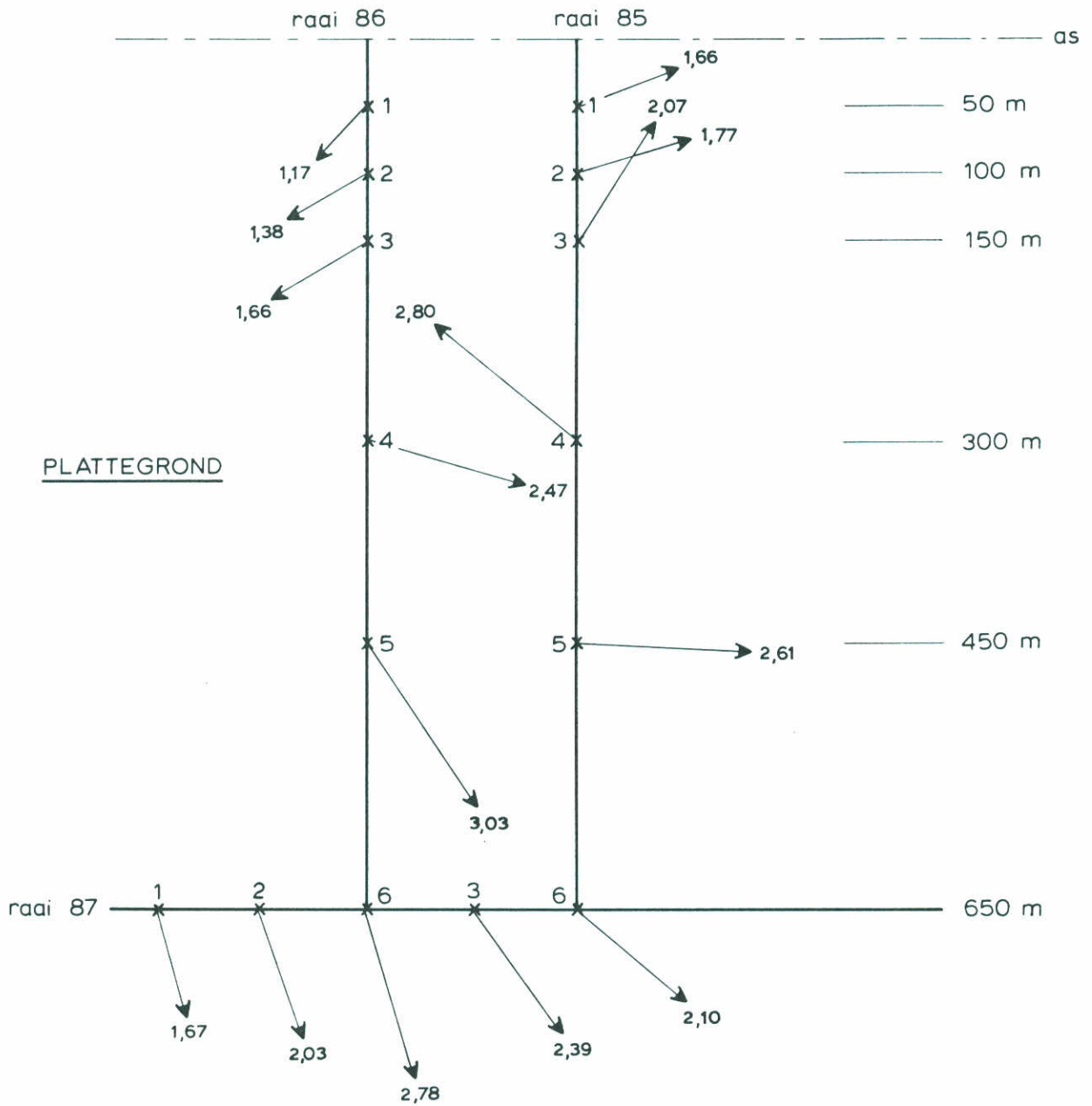
FIG. 20



SITUATIE



PLATTEGROND



GEMETEN MAXIMALE STROOMSNELHEDEN  
1/3 h BOVEN BODEM

ROOMPOT      VLOED

FILTER 0,01 Hz

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

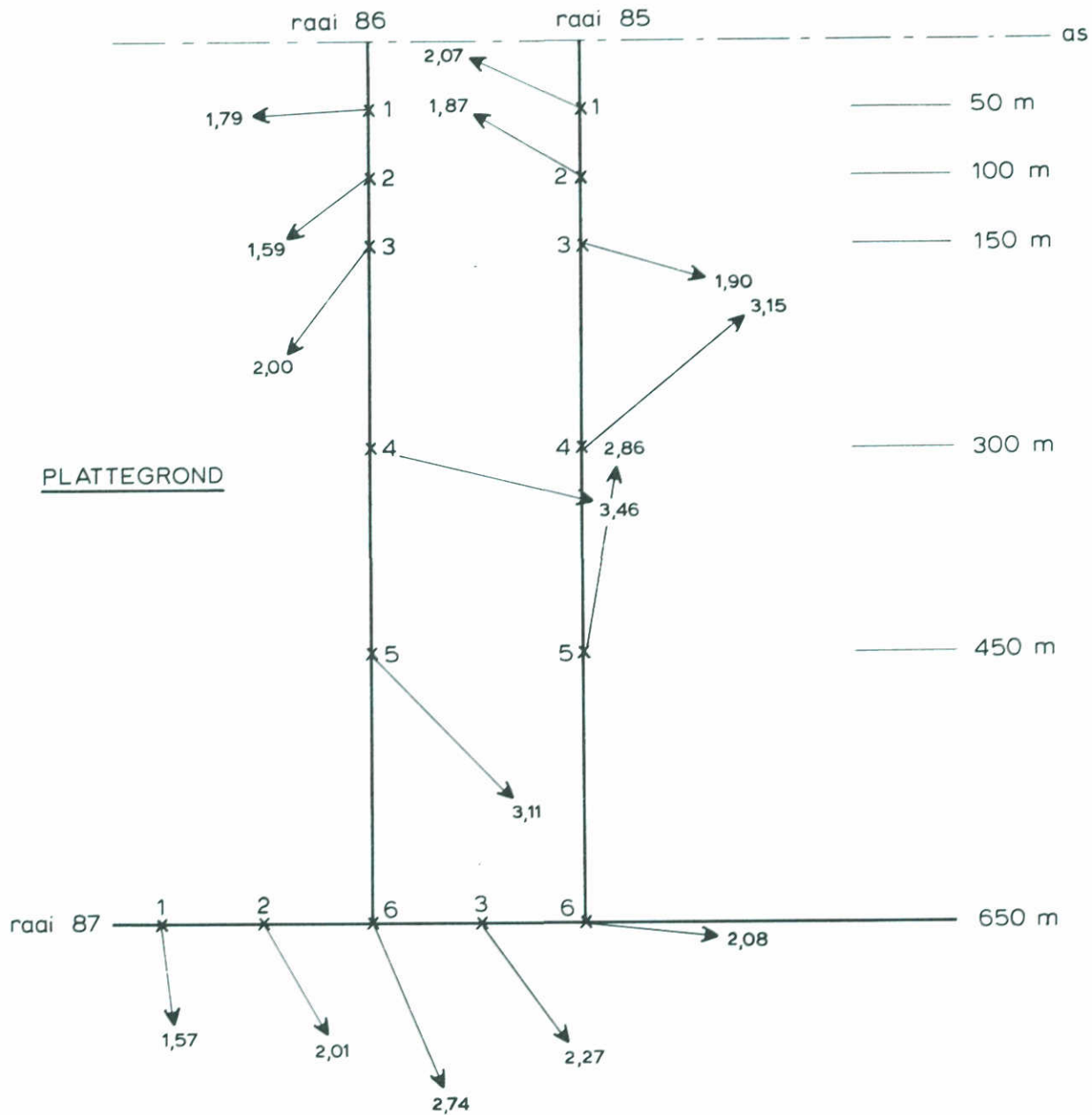
M 1878

FIG. 21

SITUATIE



PLATTEGROND



GEMETEN MAXIMALE STROOMSNELHEDEN  
2,4 m BOVEN BODEM

ROOMPOT	VLOED
FILTER 0,1 Hz	

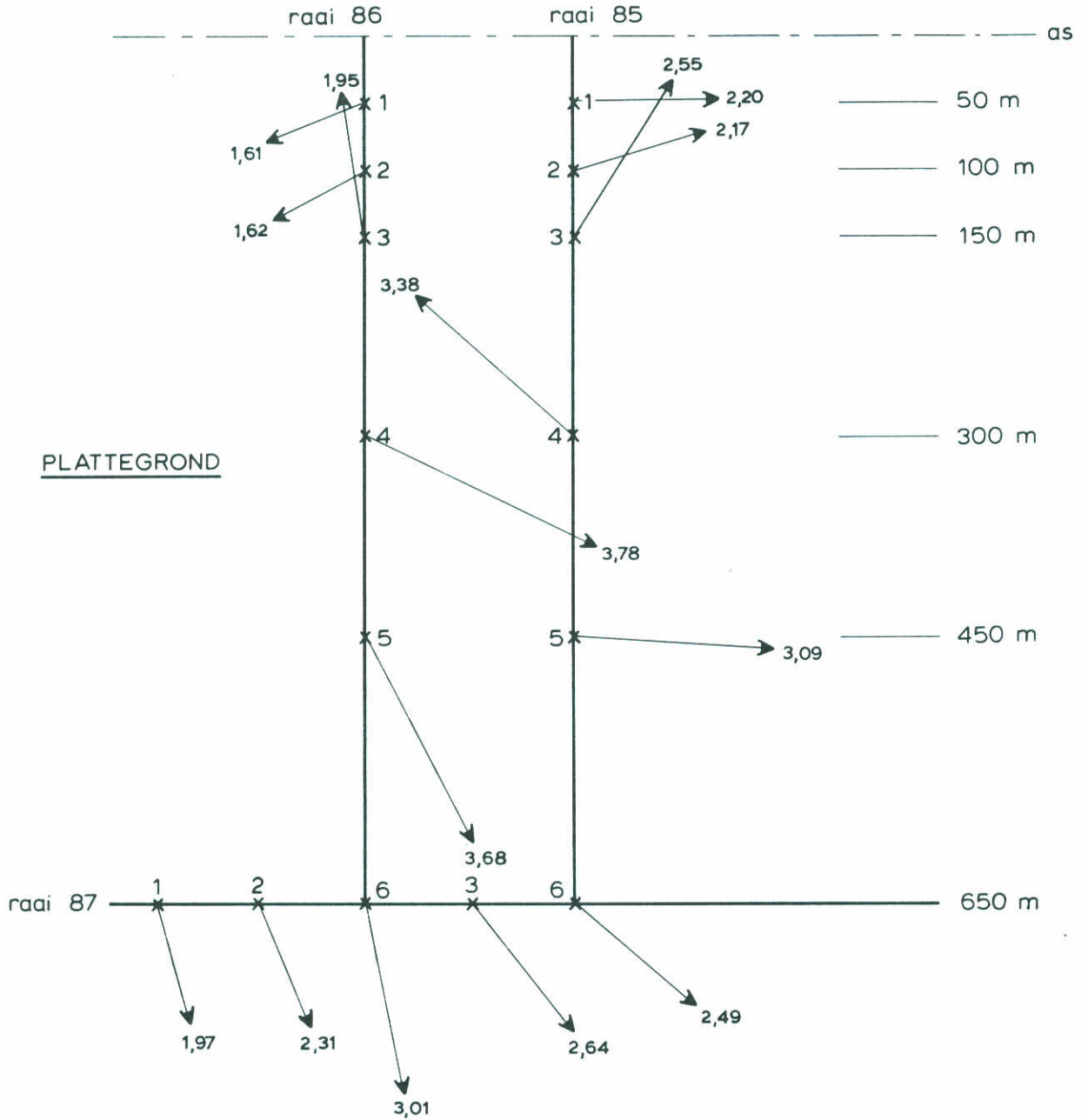
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878	FIG. 22
--------	---------

SITUATIE



PLATTEGROND

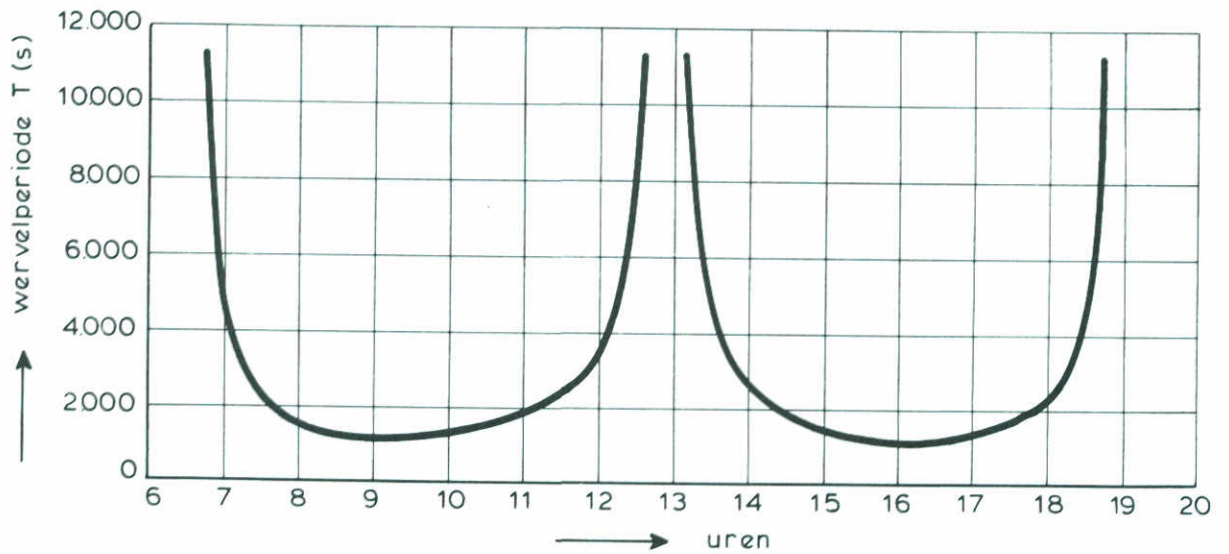
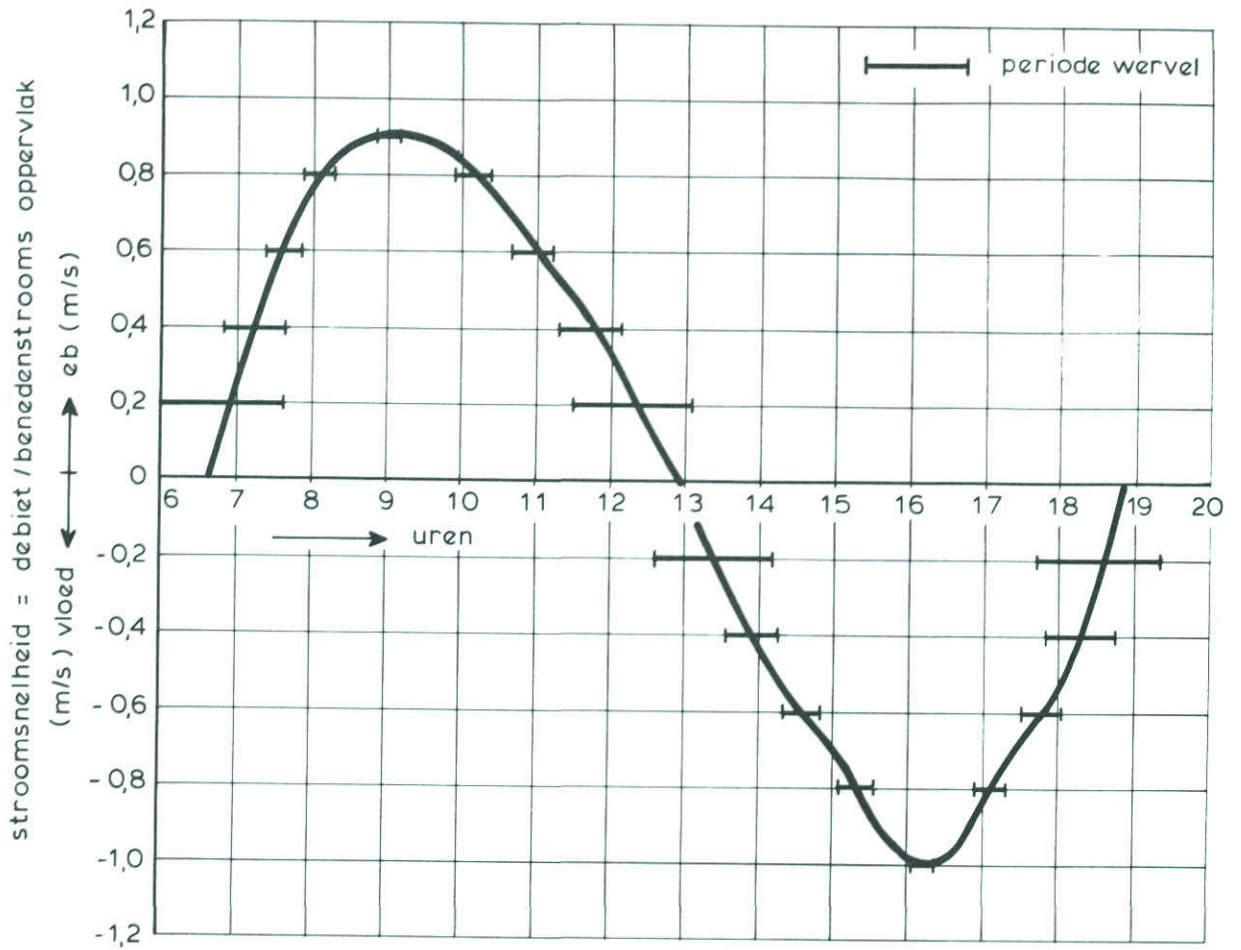


GEMETEN MAXIMALE STROOMSNELHEDEN  
1/3 h BOVEN BODEM

ROOMPOT	VLOED
FILTER 0,1 Hz	

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878	FIG. 23
--------	---------



VERLOOP STROOMSNELHEDEN EN WERVELPERIODEN  
ALS FUNKTIE VAN HET GETIJ

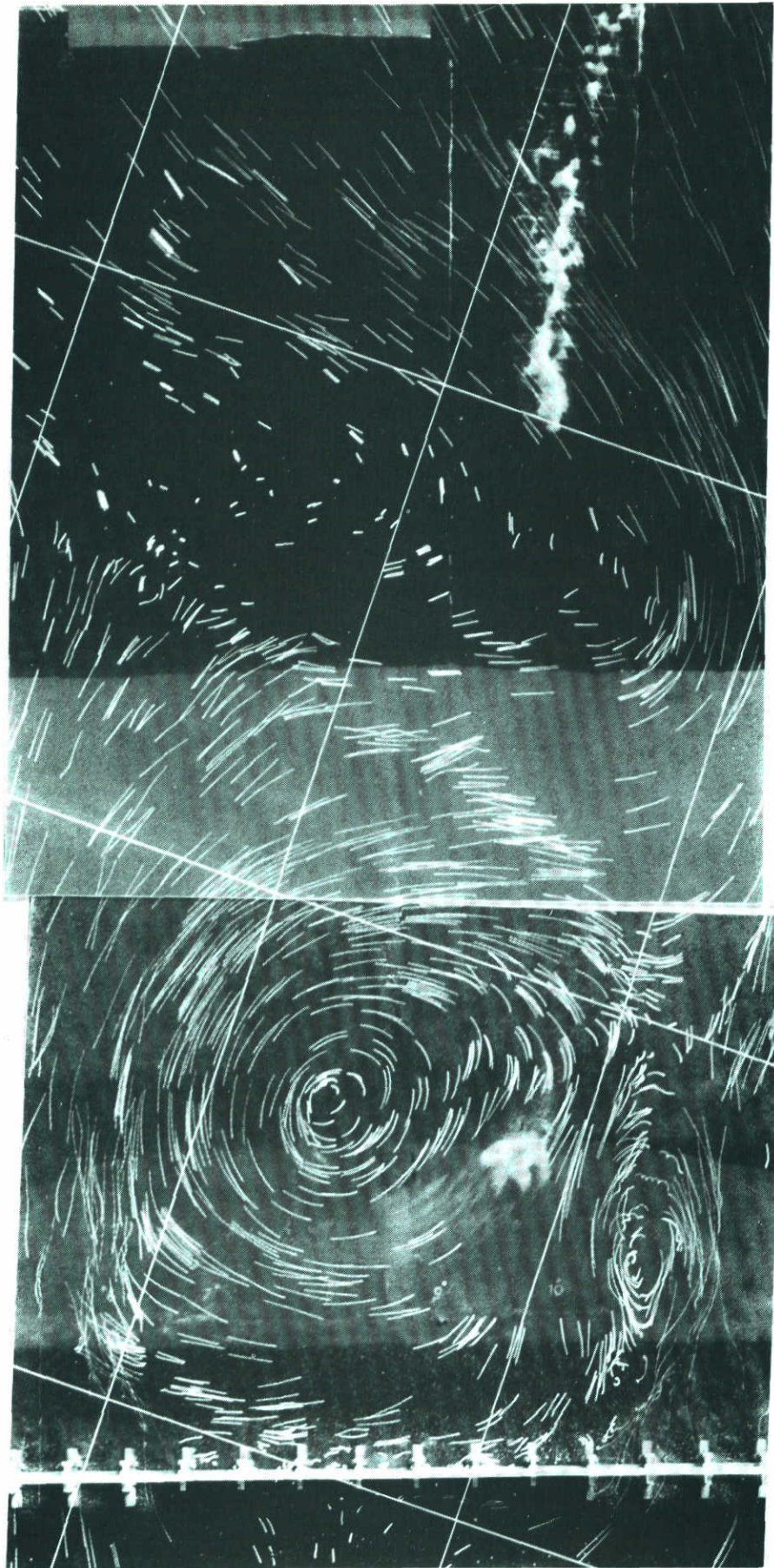
ROOMPOT

7 GESLOTEN SCHUIVEN

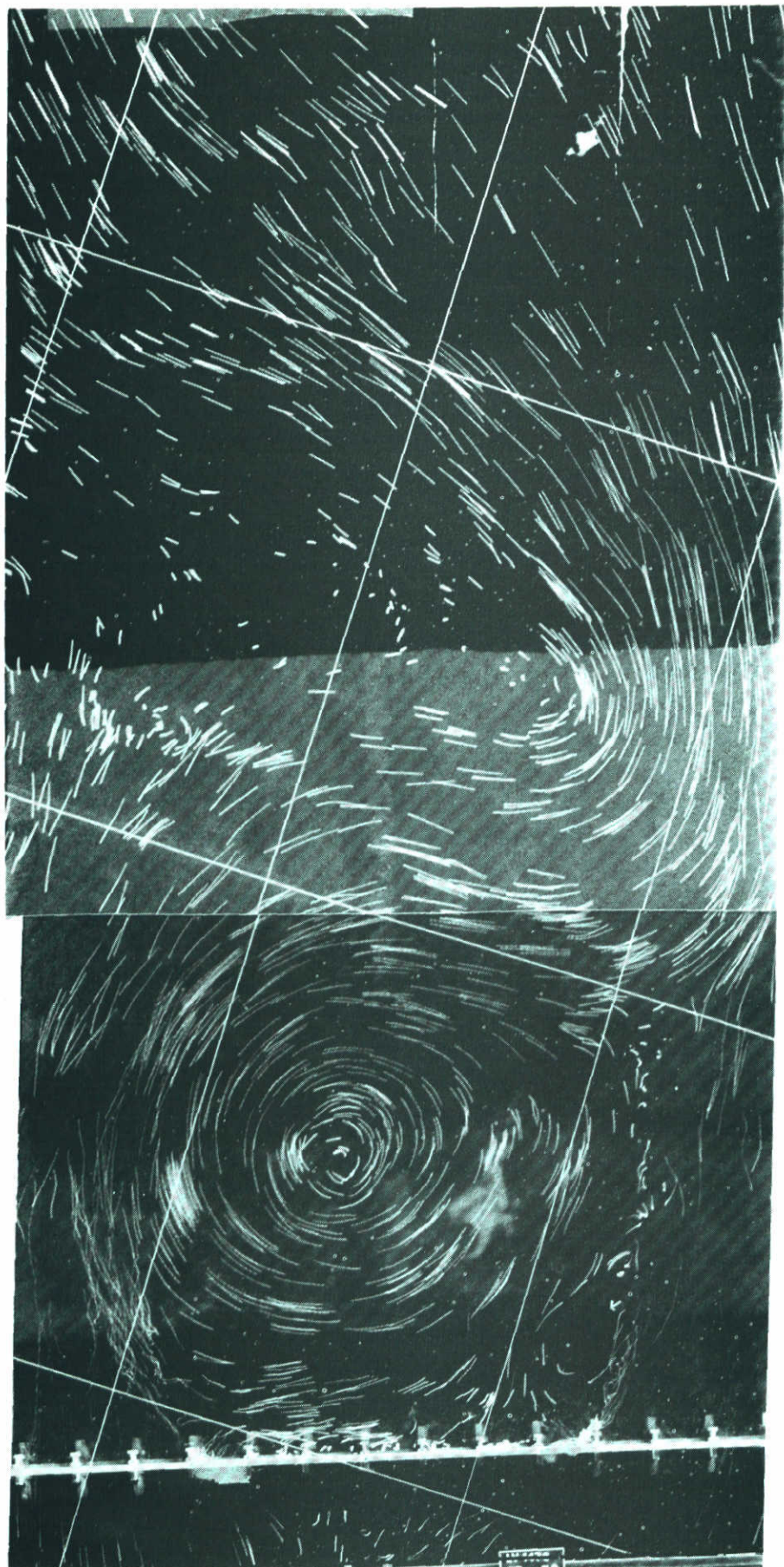
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1878

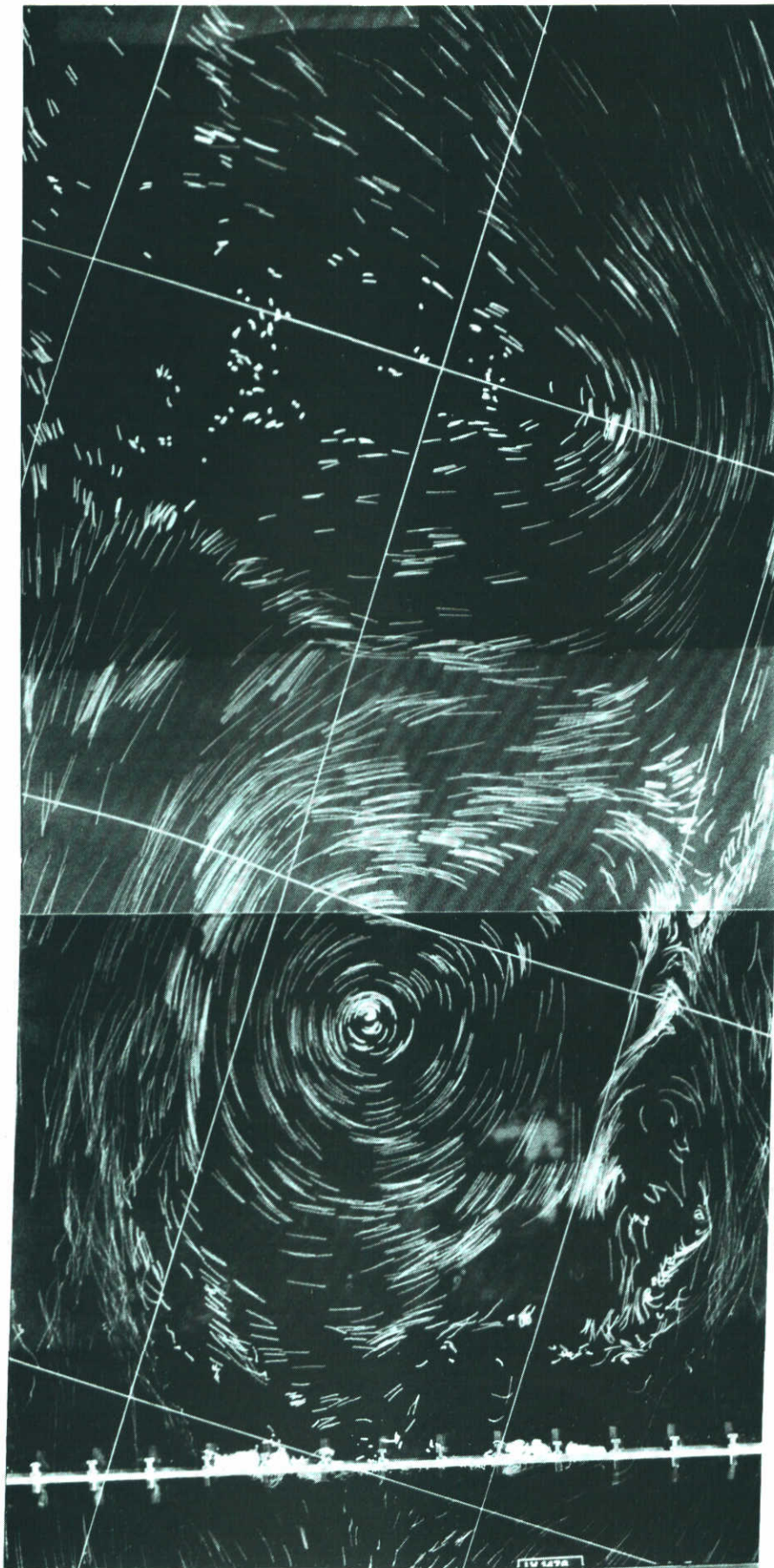
FIG. 24



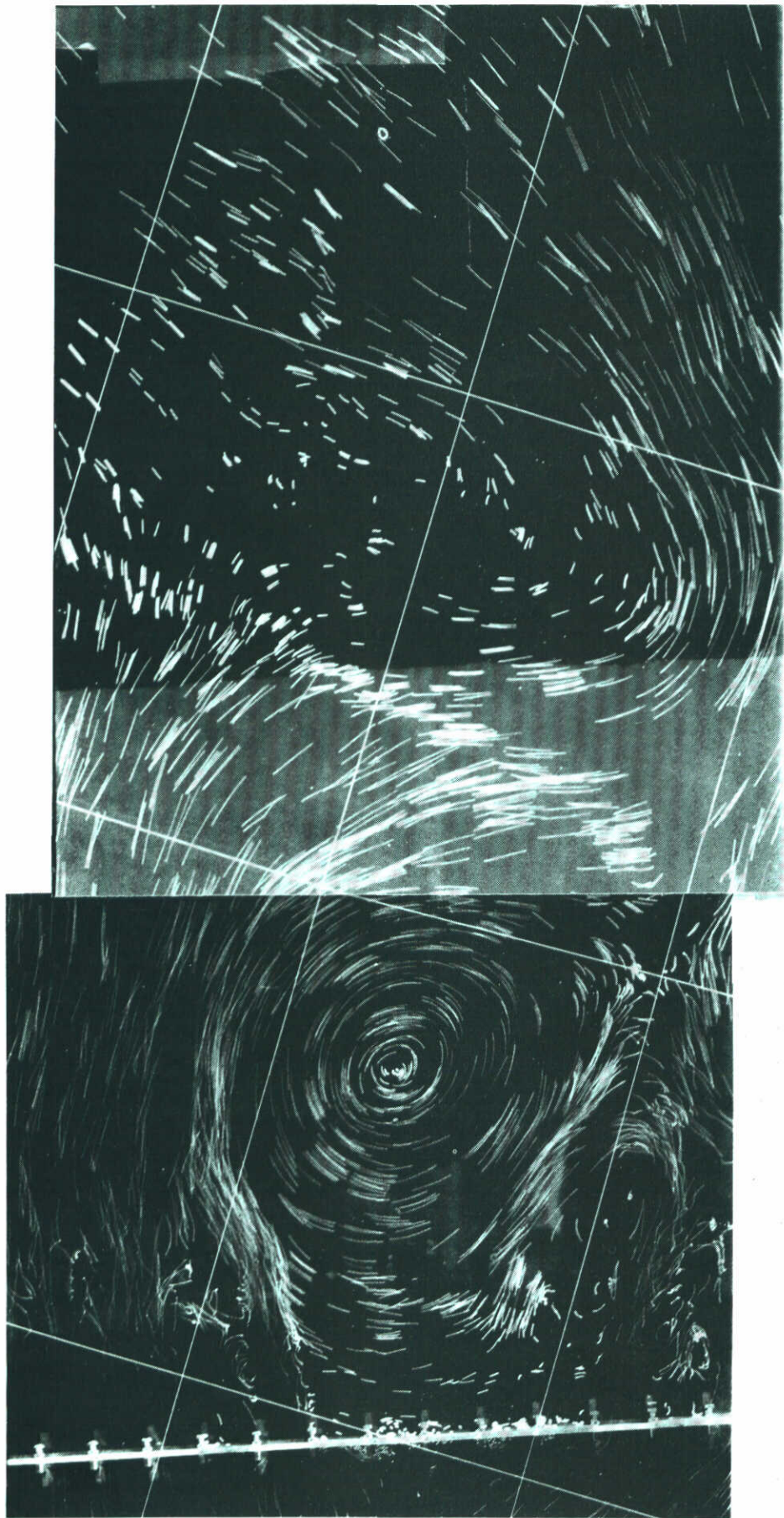
1 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s



2 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 1  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s

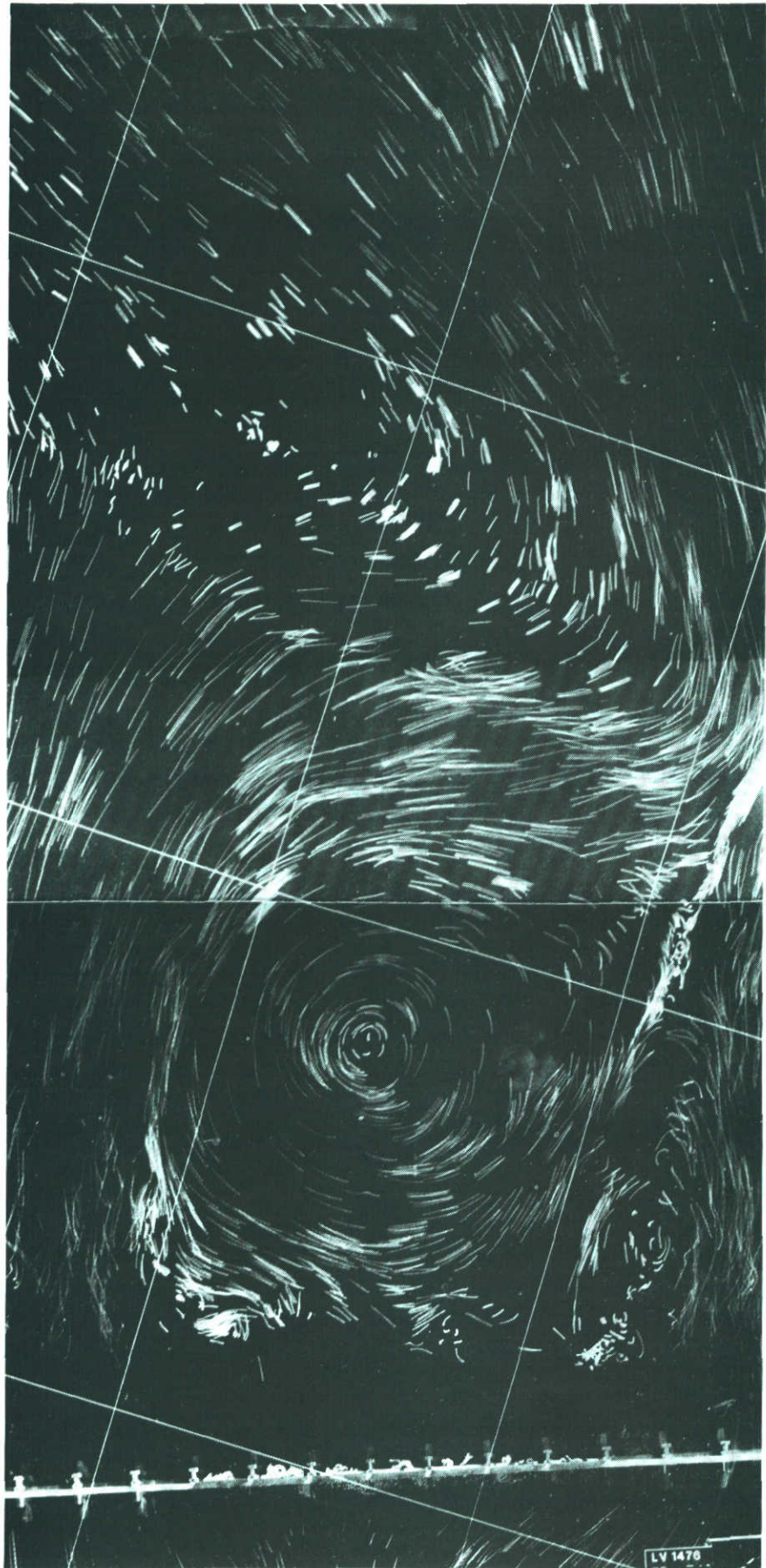


3 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 2  
 eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s

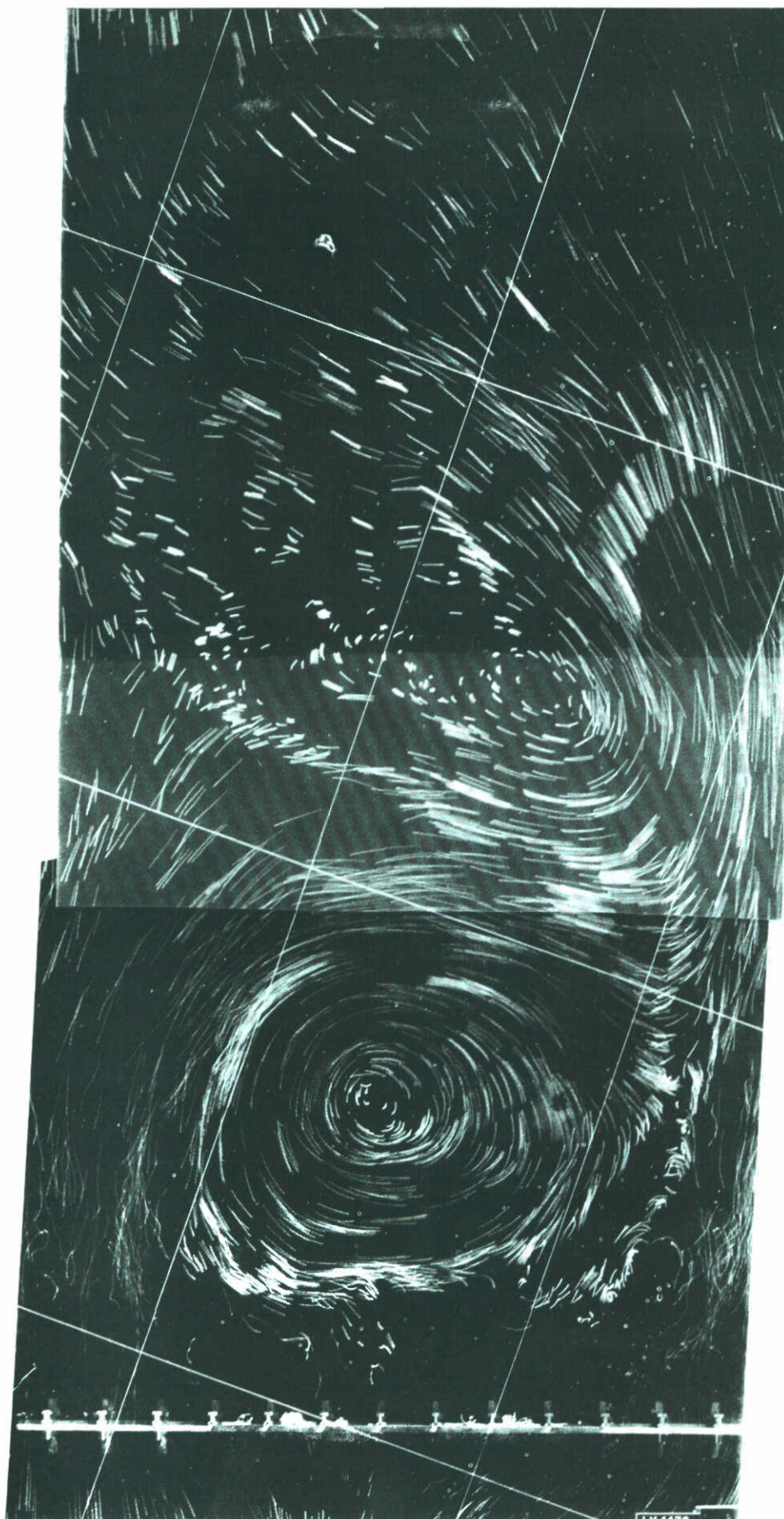


4 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R9 - R18, variant 3  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s

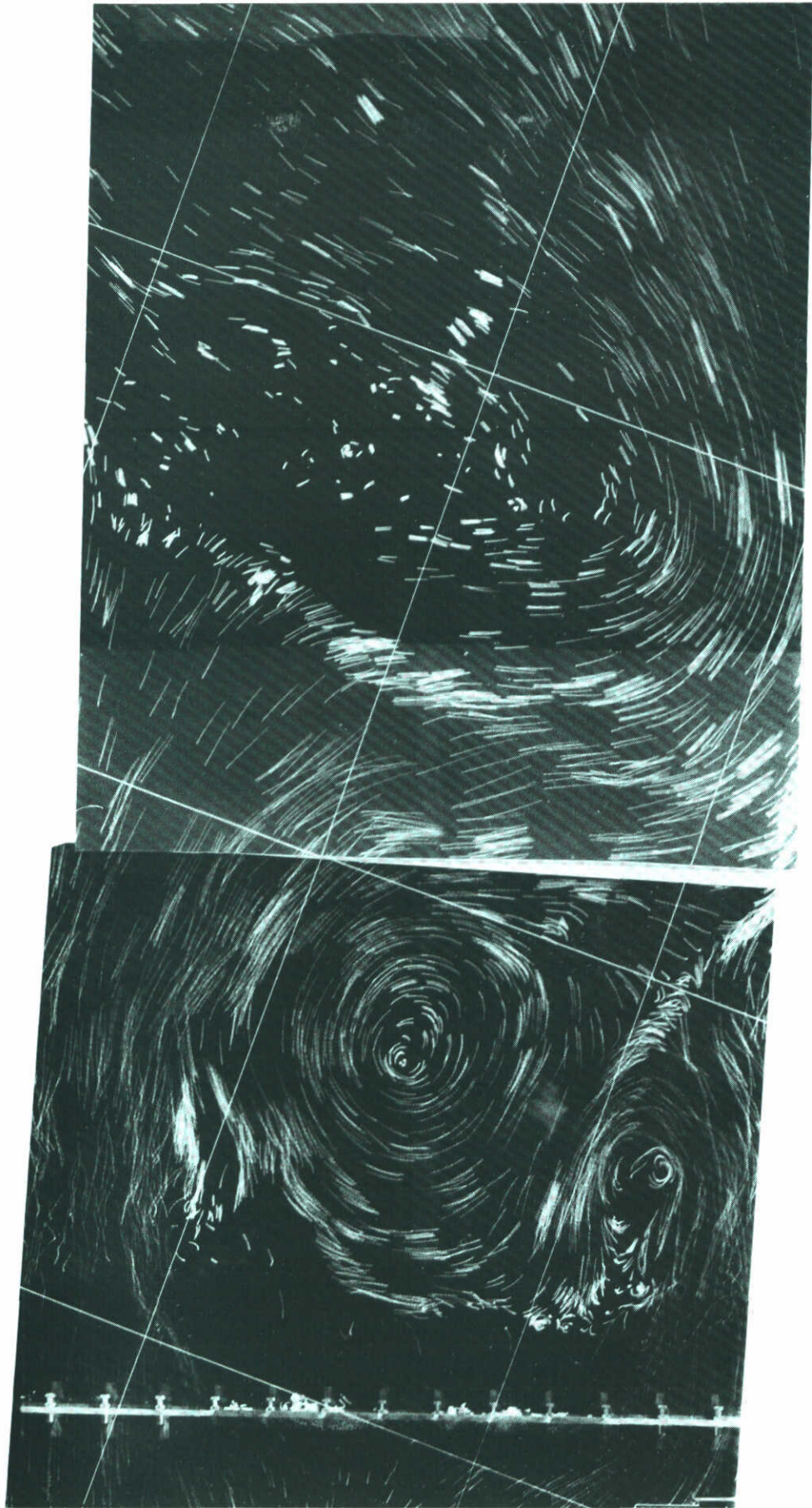




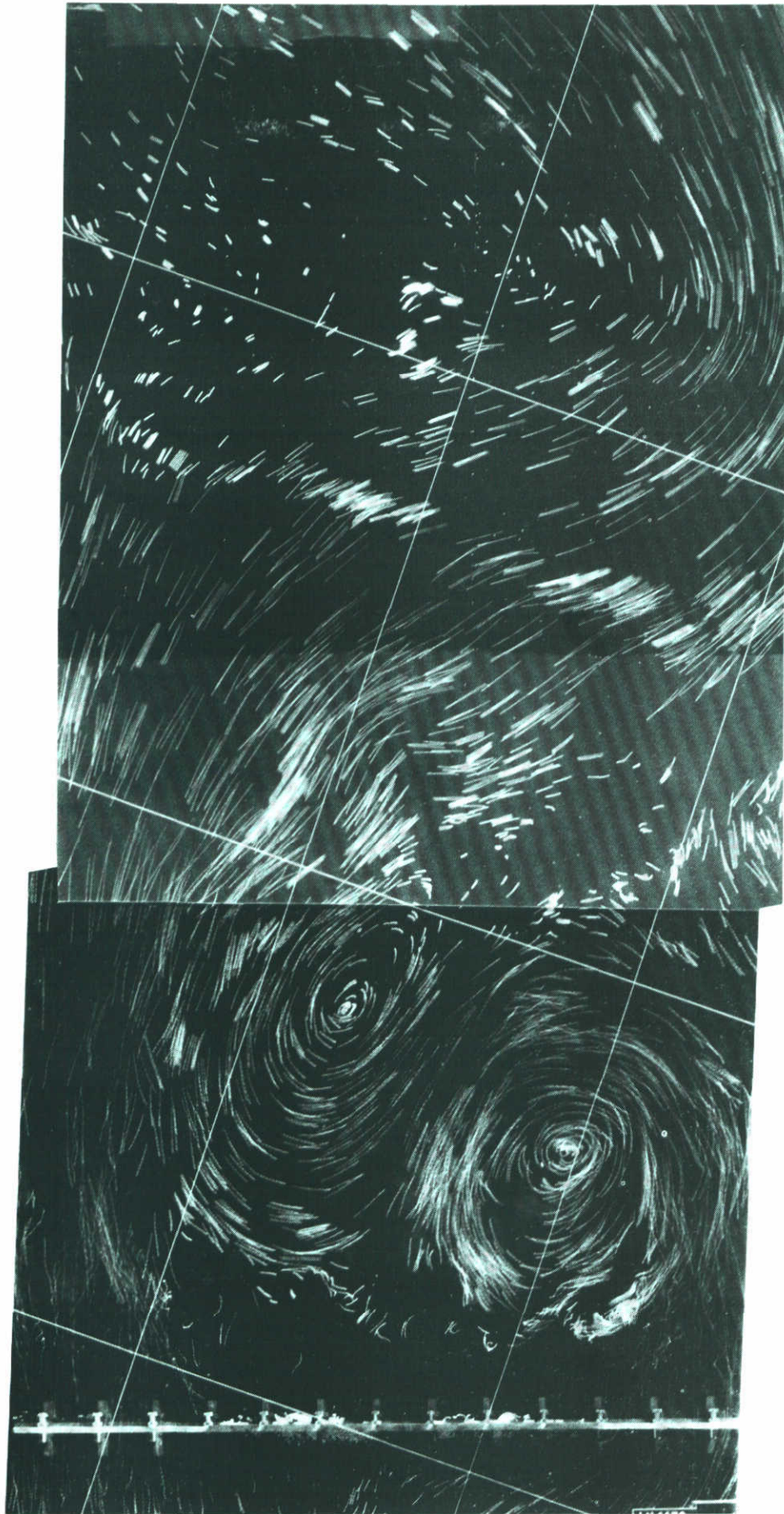
5 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



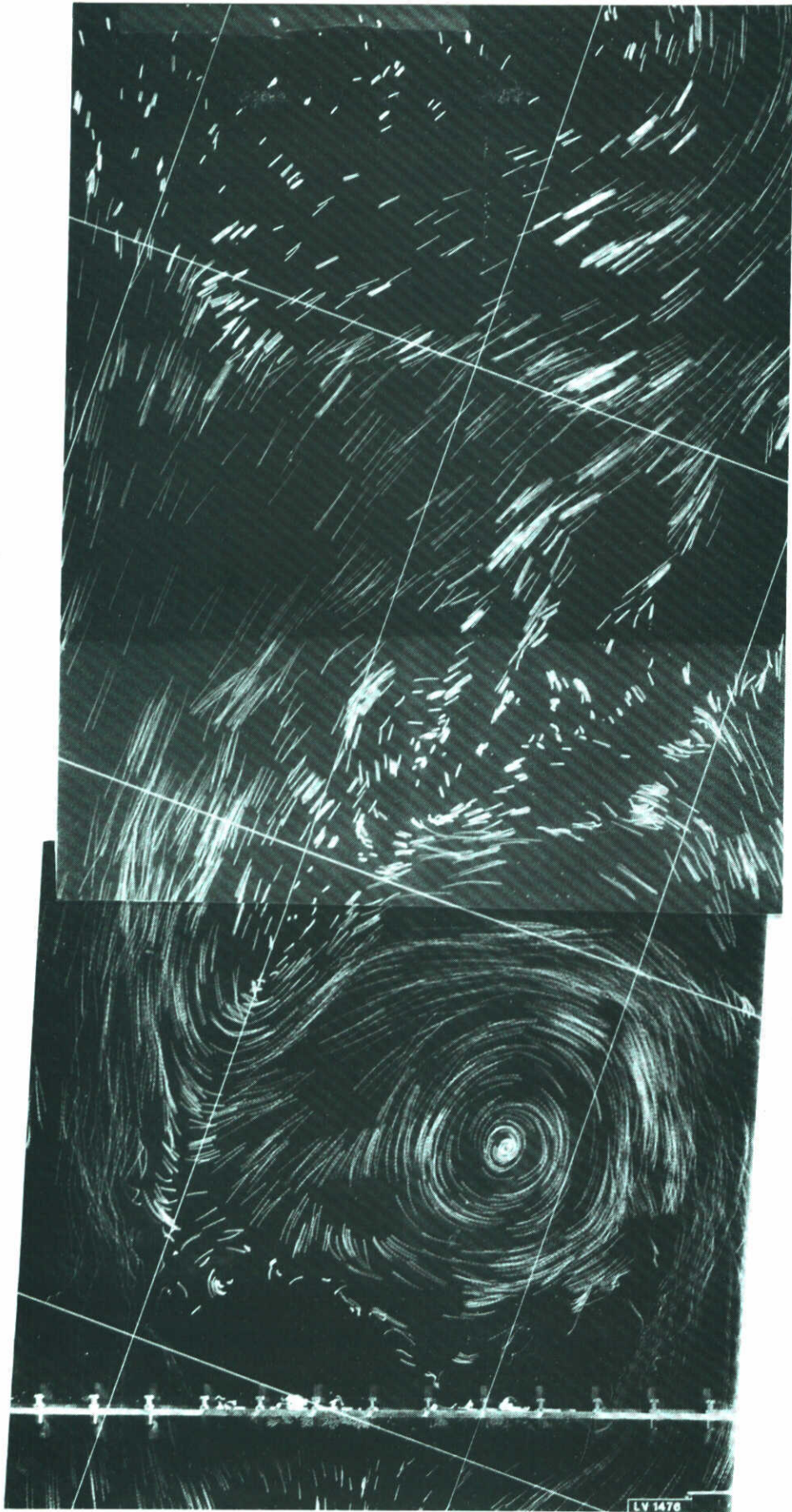
6.1 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



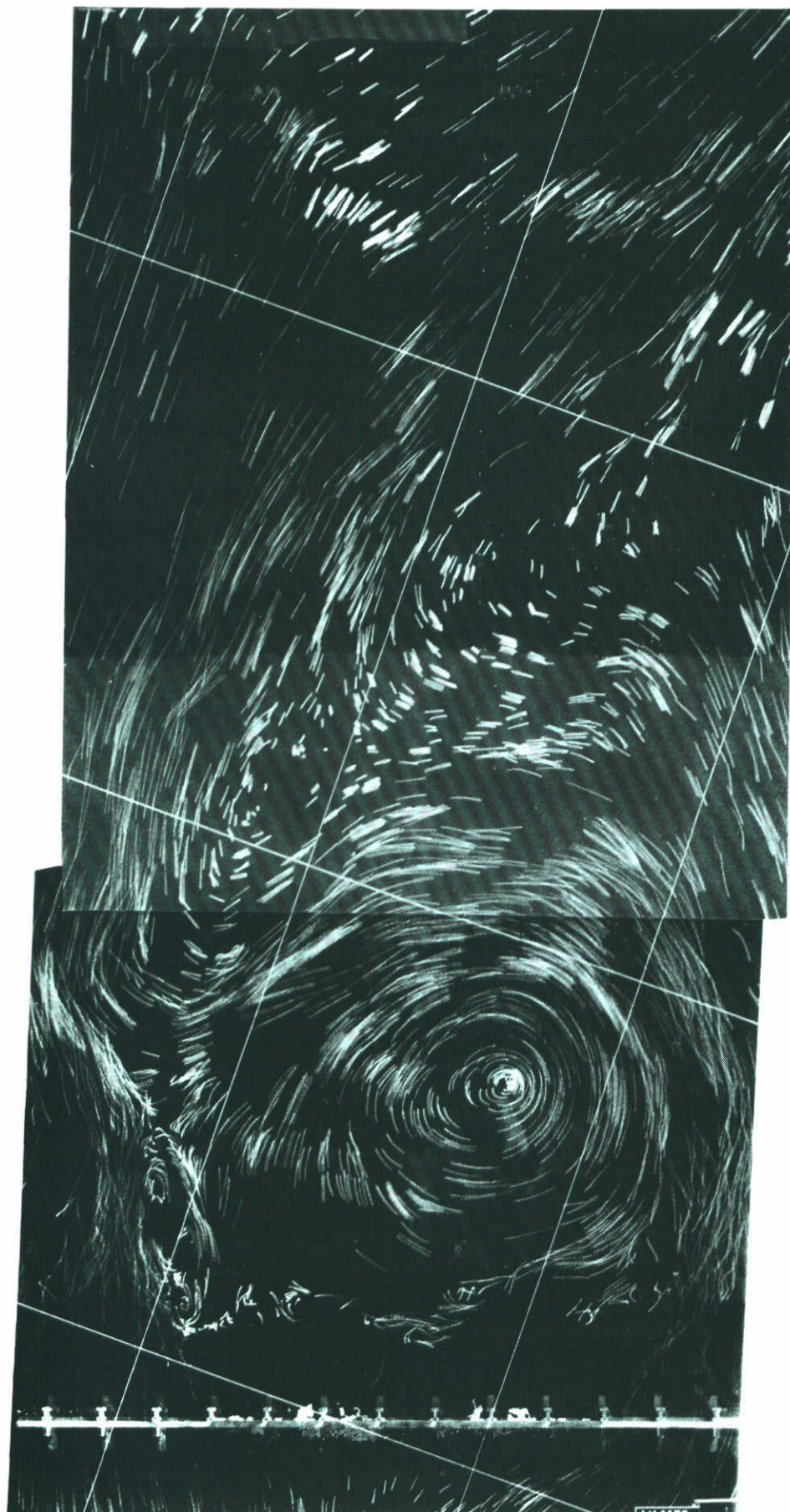
6.2 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$



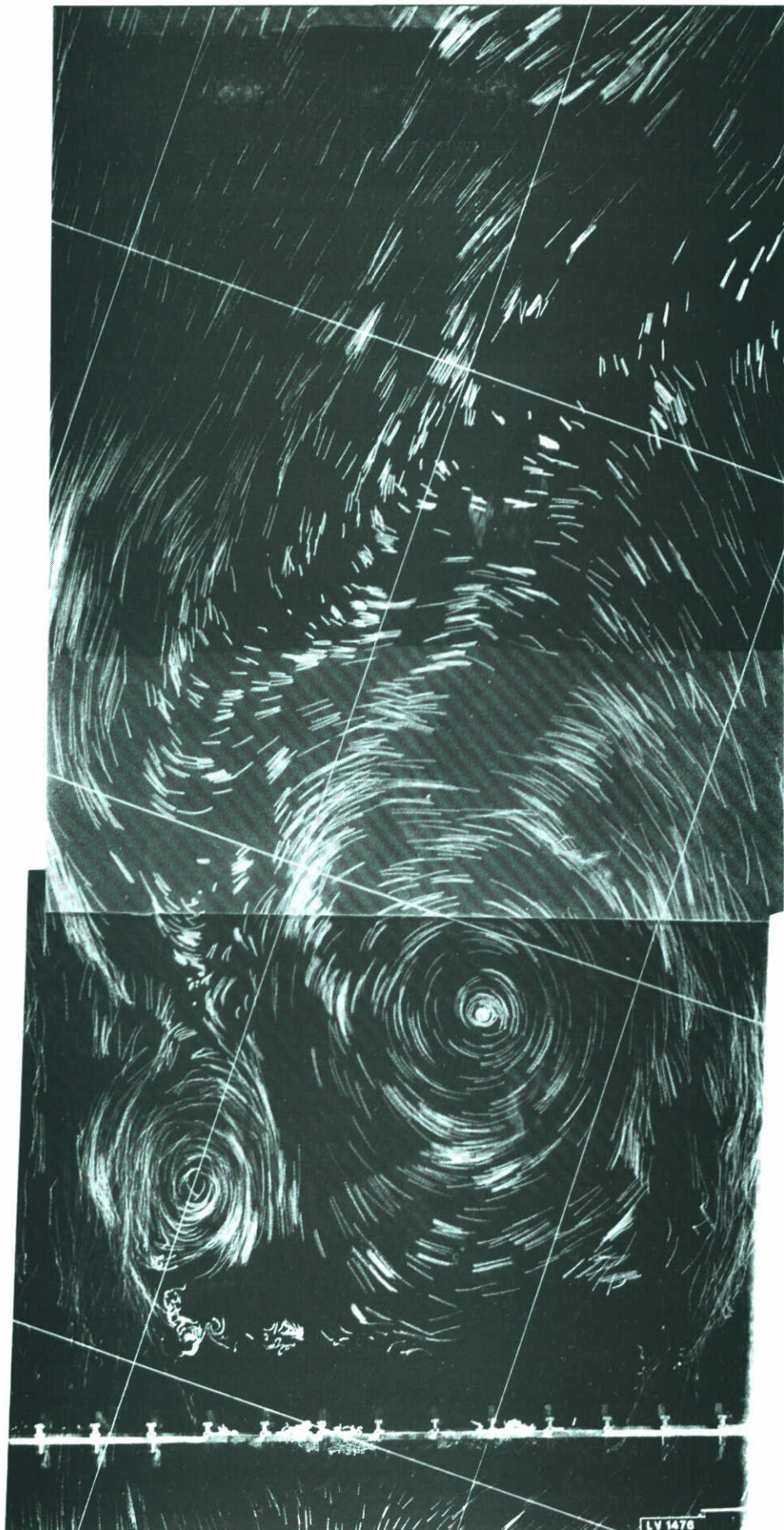
6.3 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$



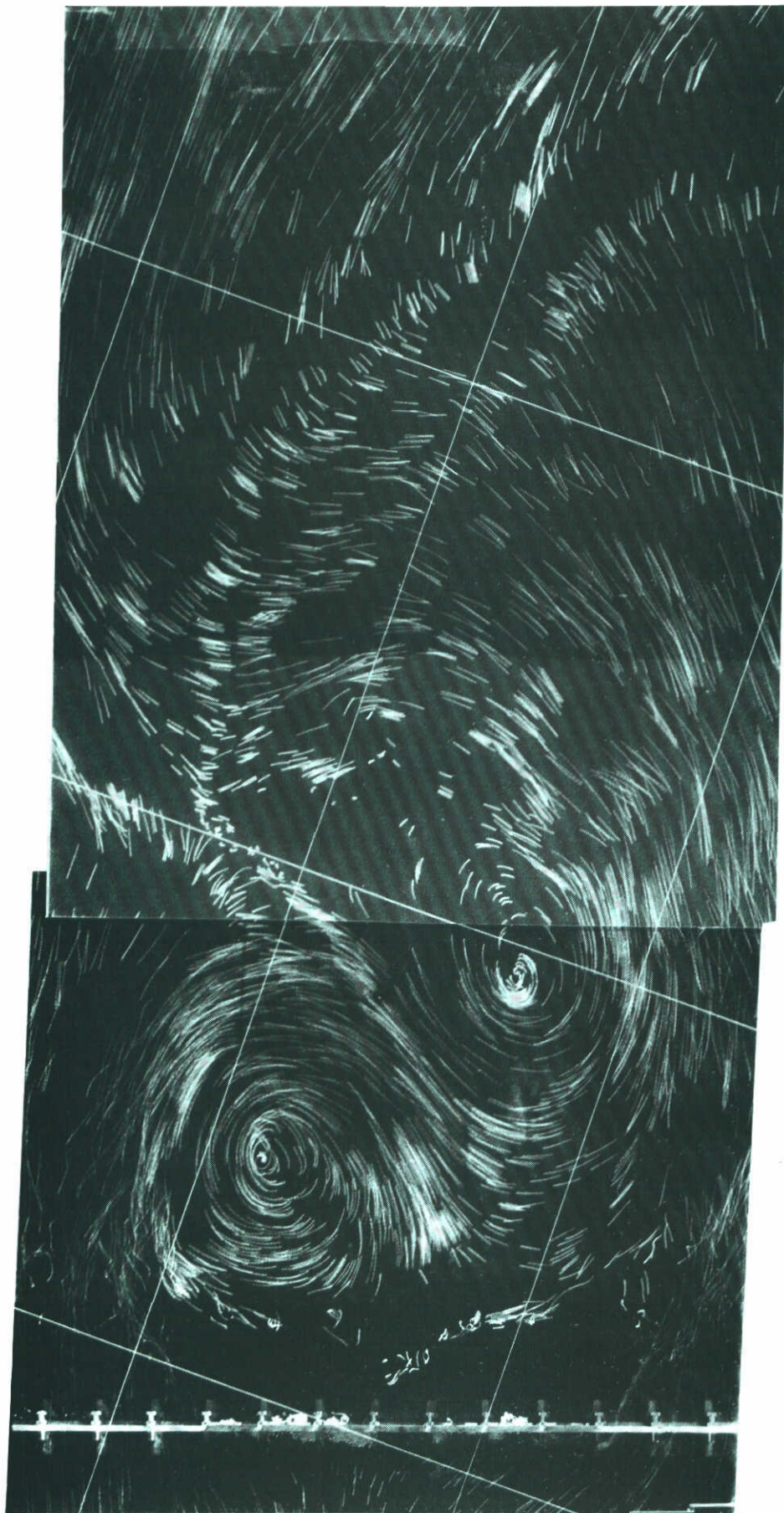
6.4 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



6.5 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s

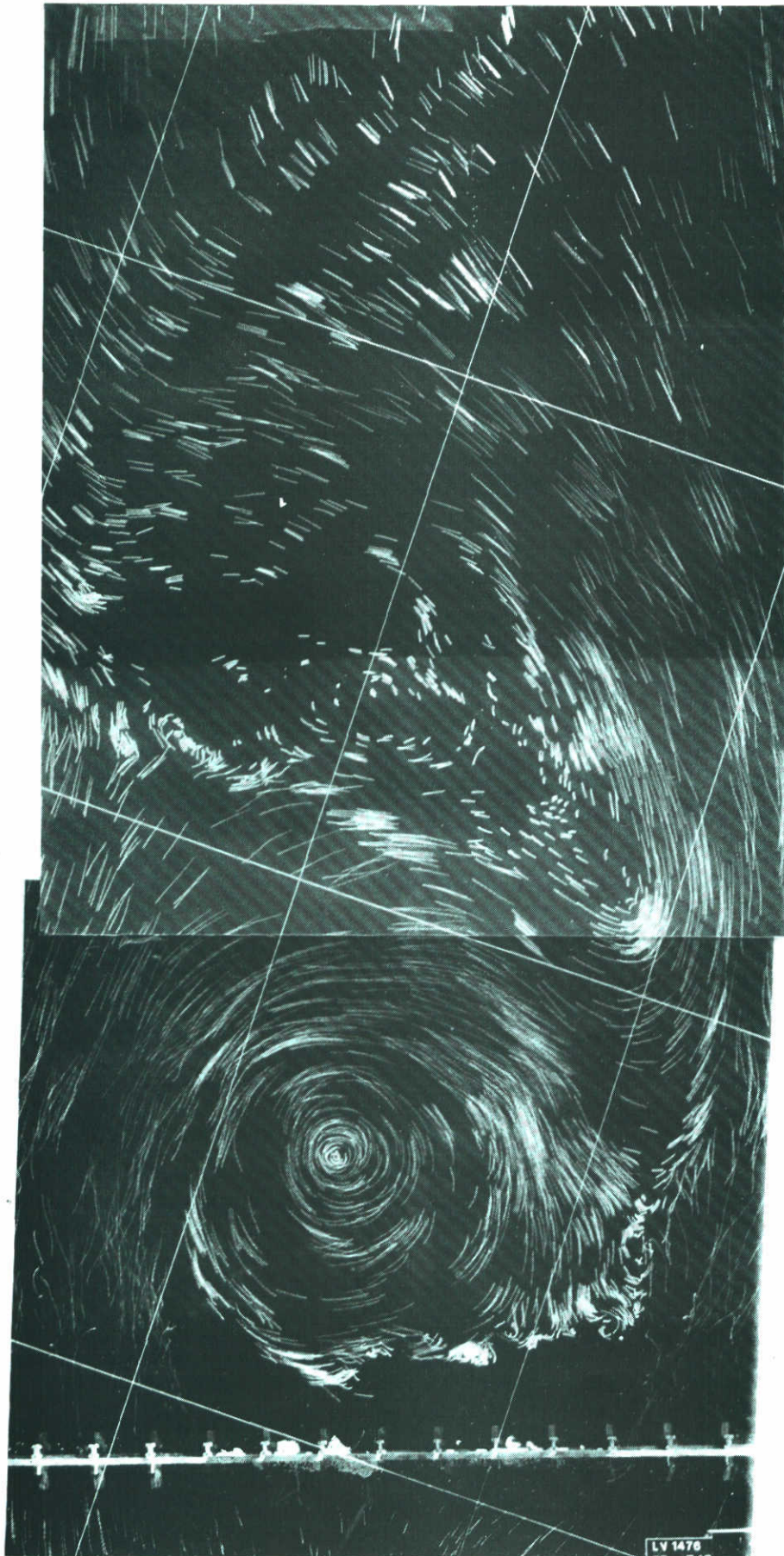


6.6 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s

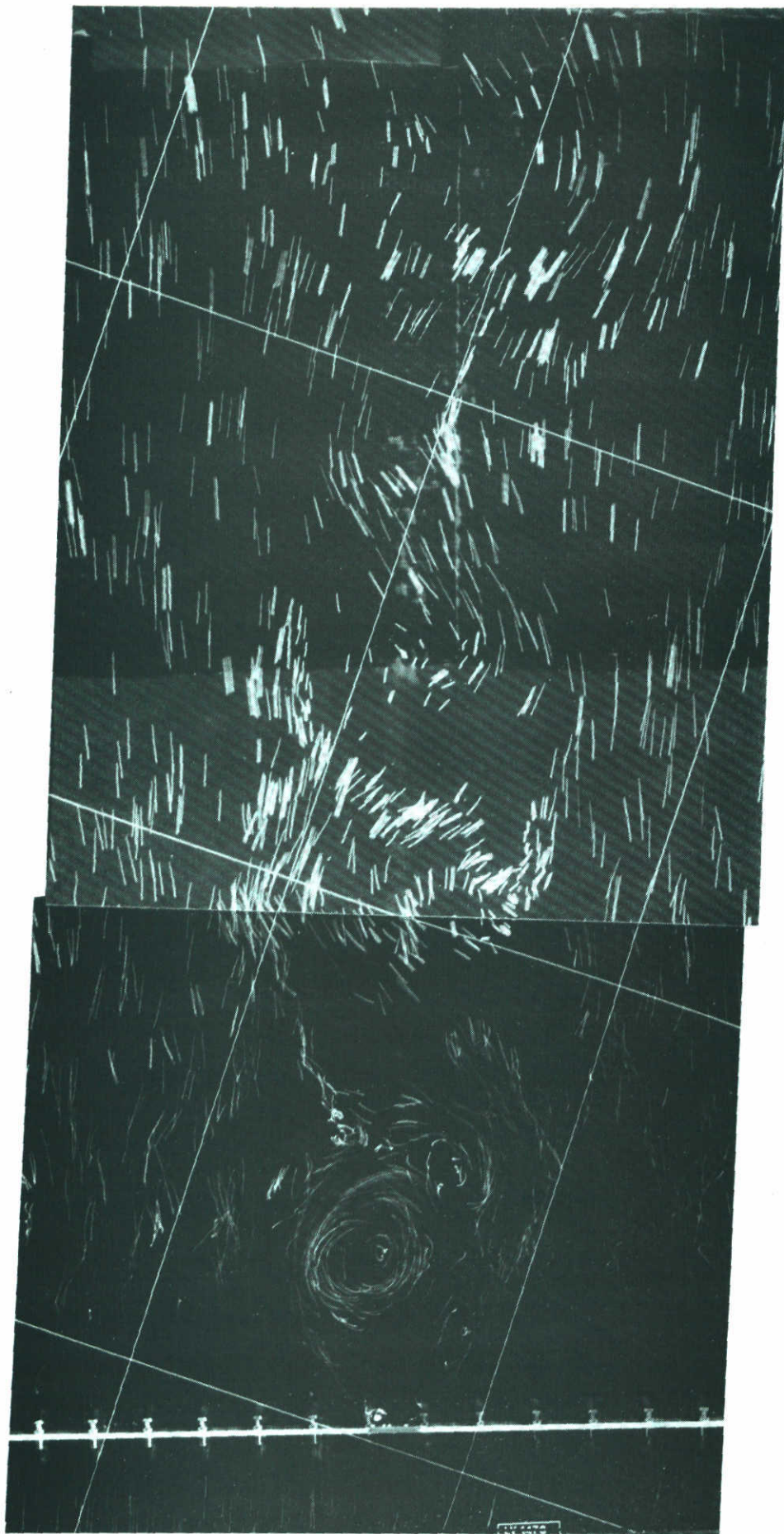


6.7 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$

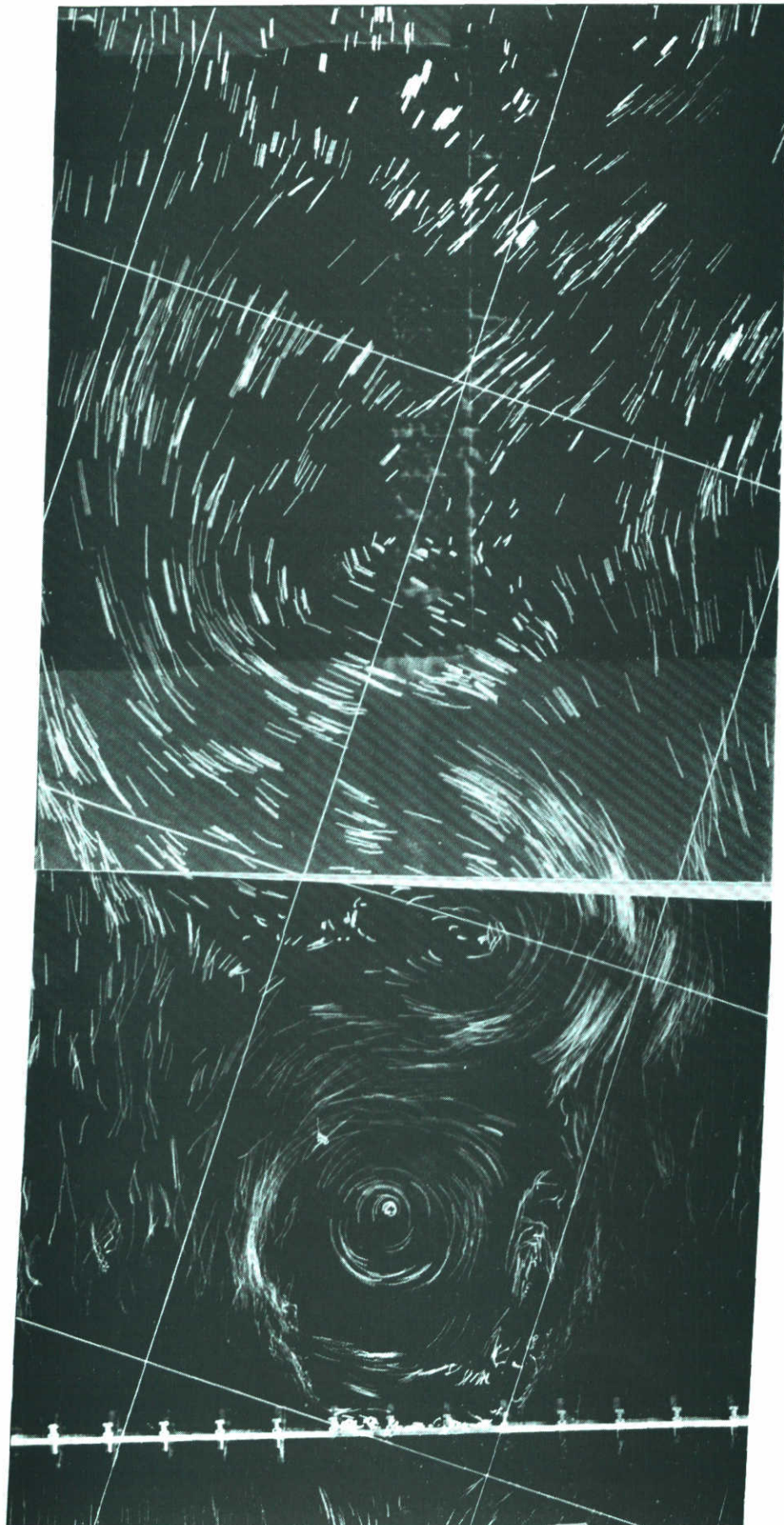




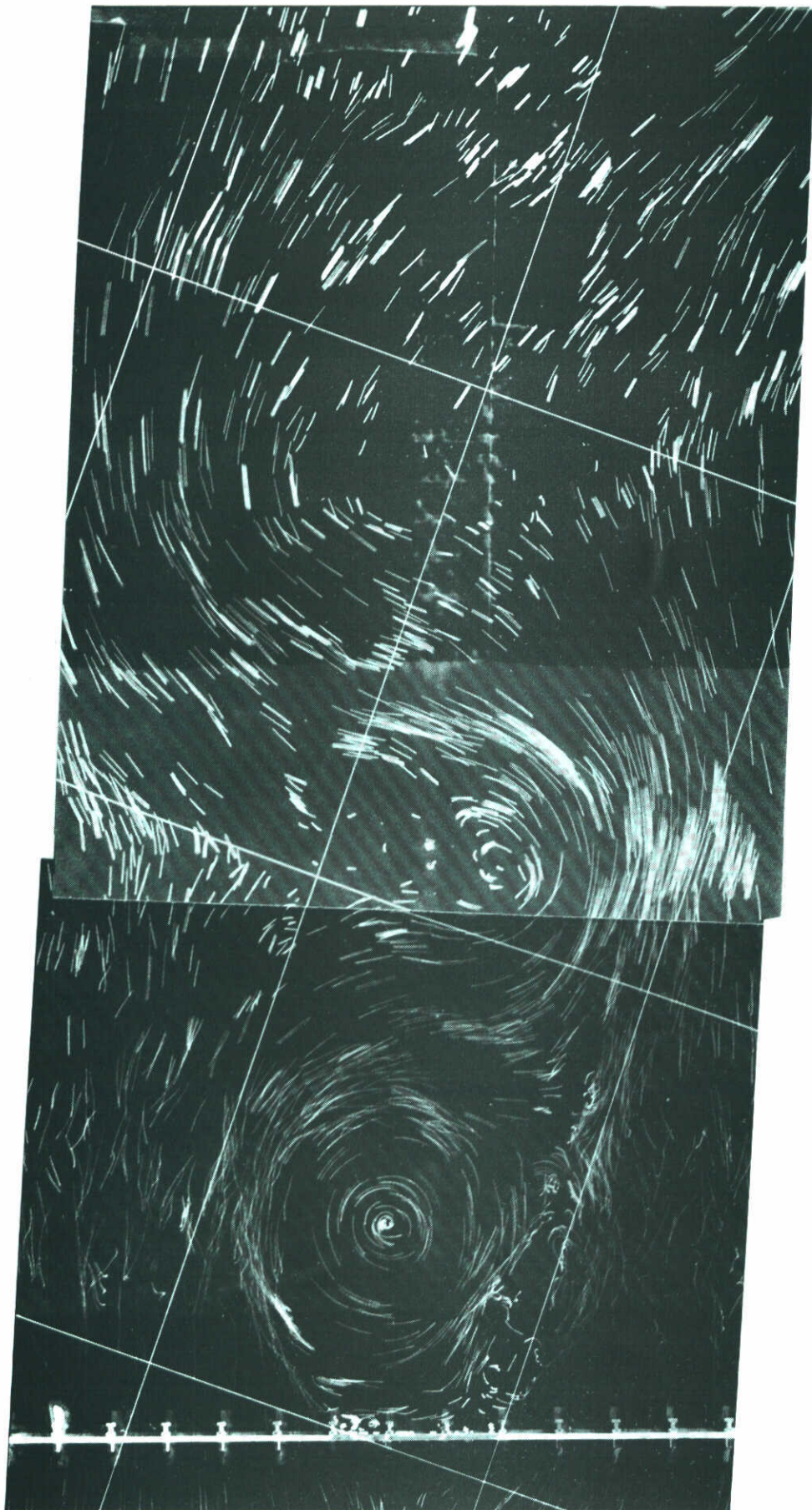
6.8 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



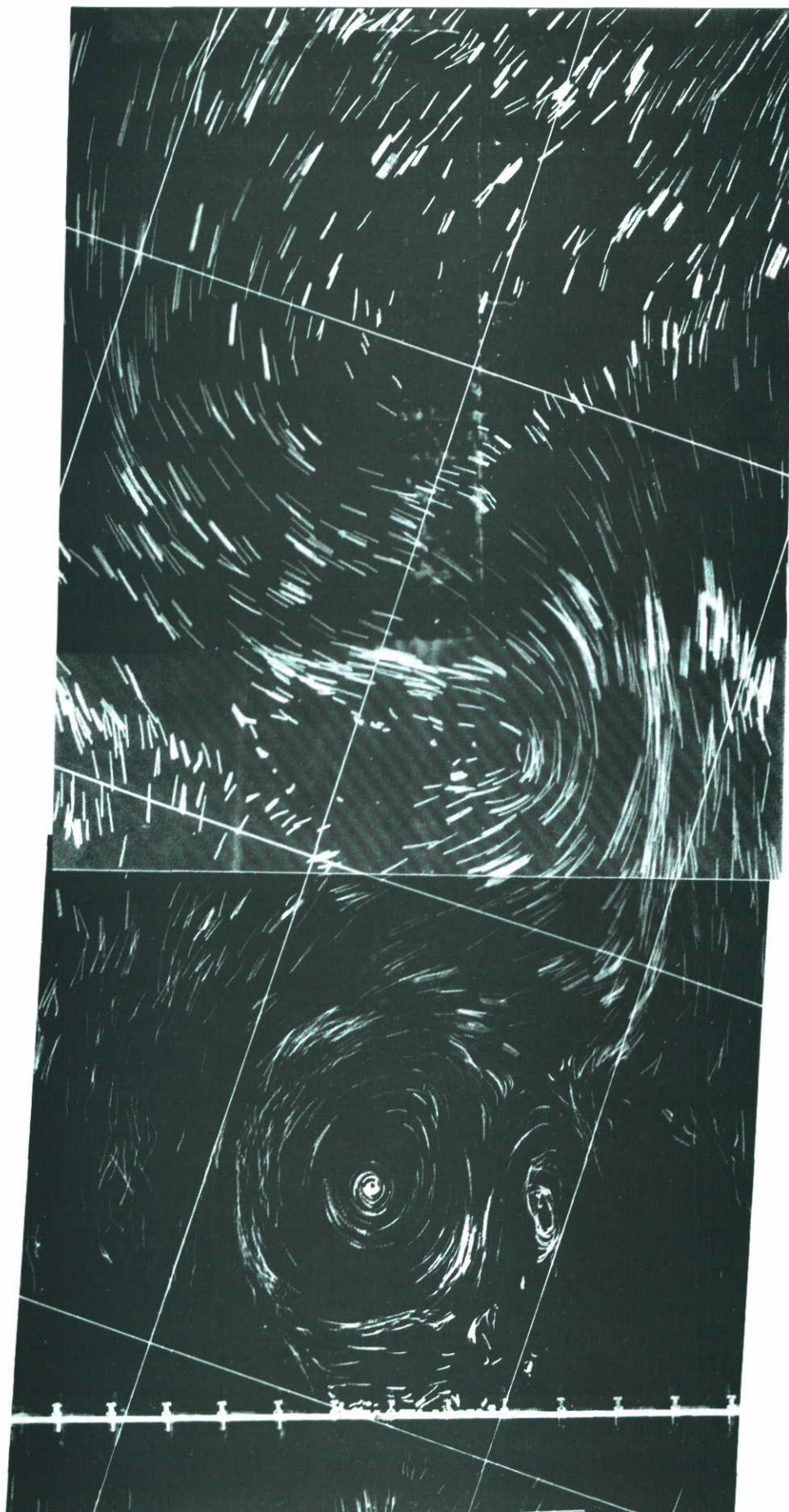
7. Roompot, 1 schuif gesloten tussen R13 - R14  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



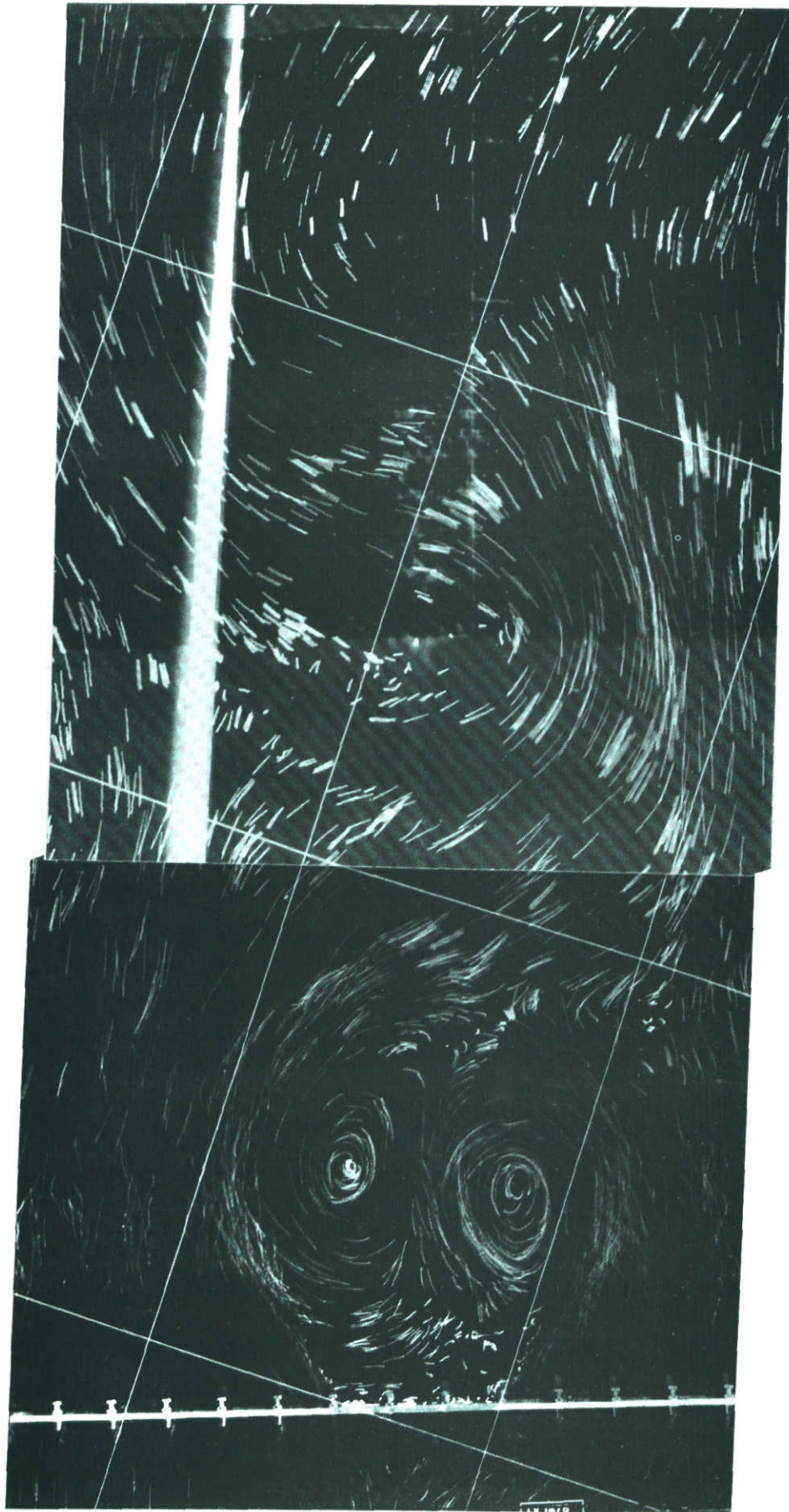
8.1 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



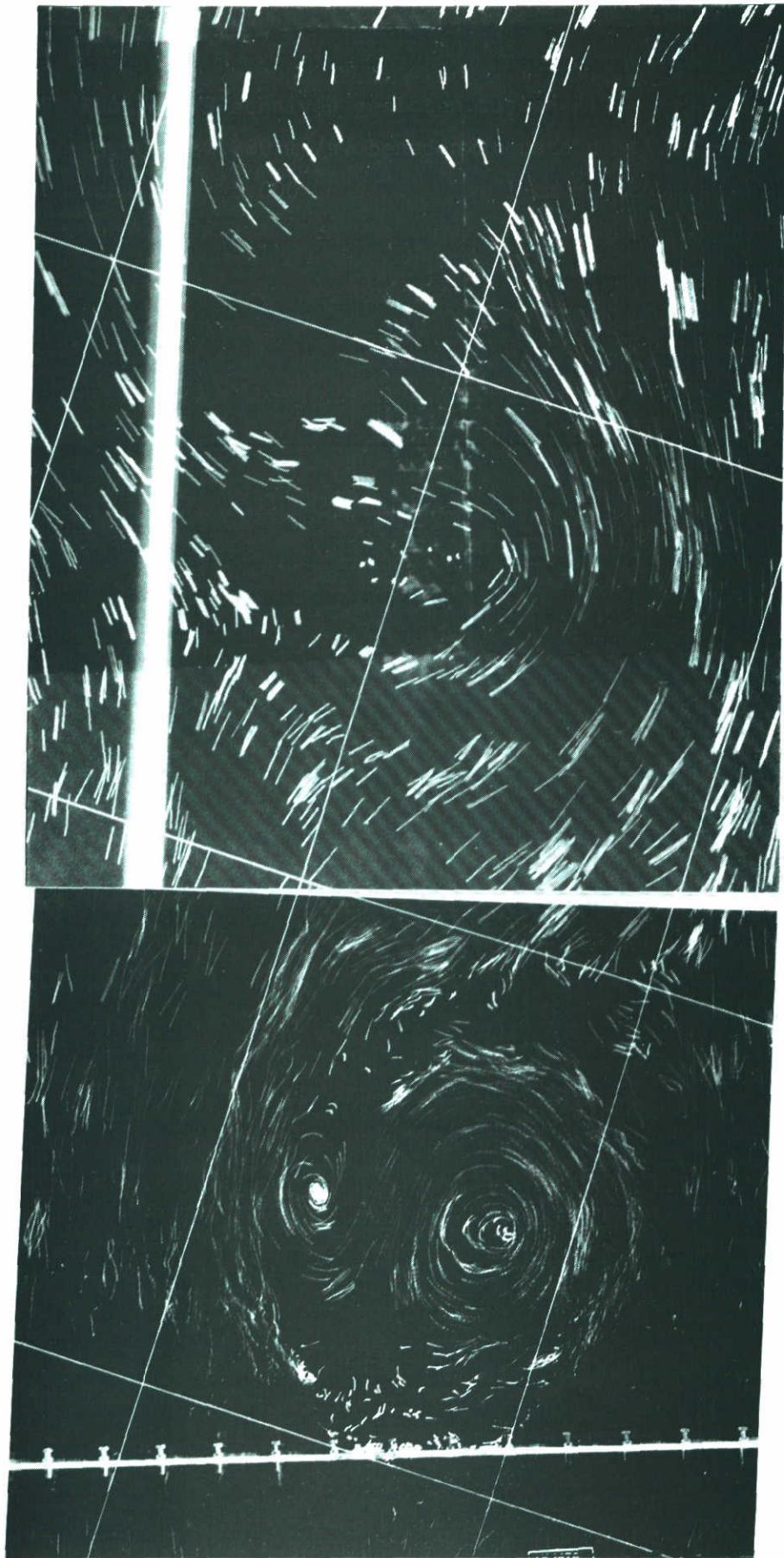
8.2 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



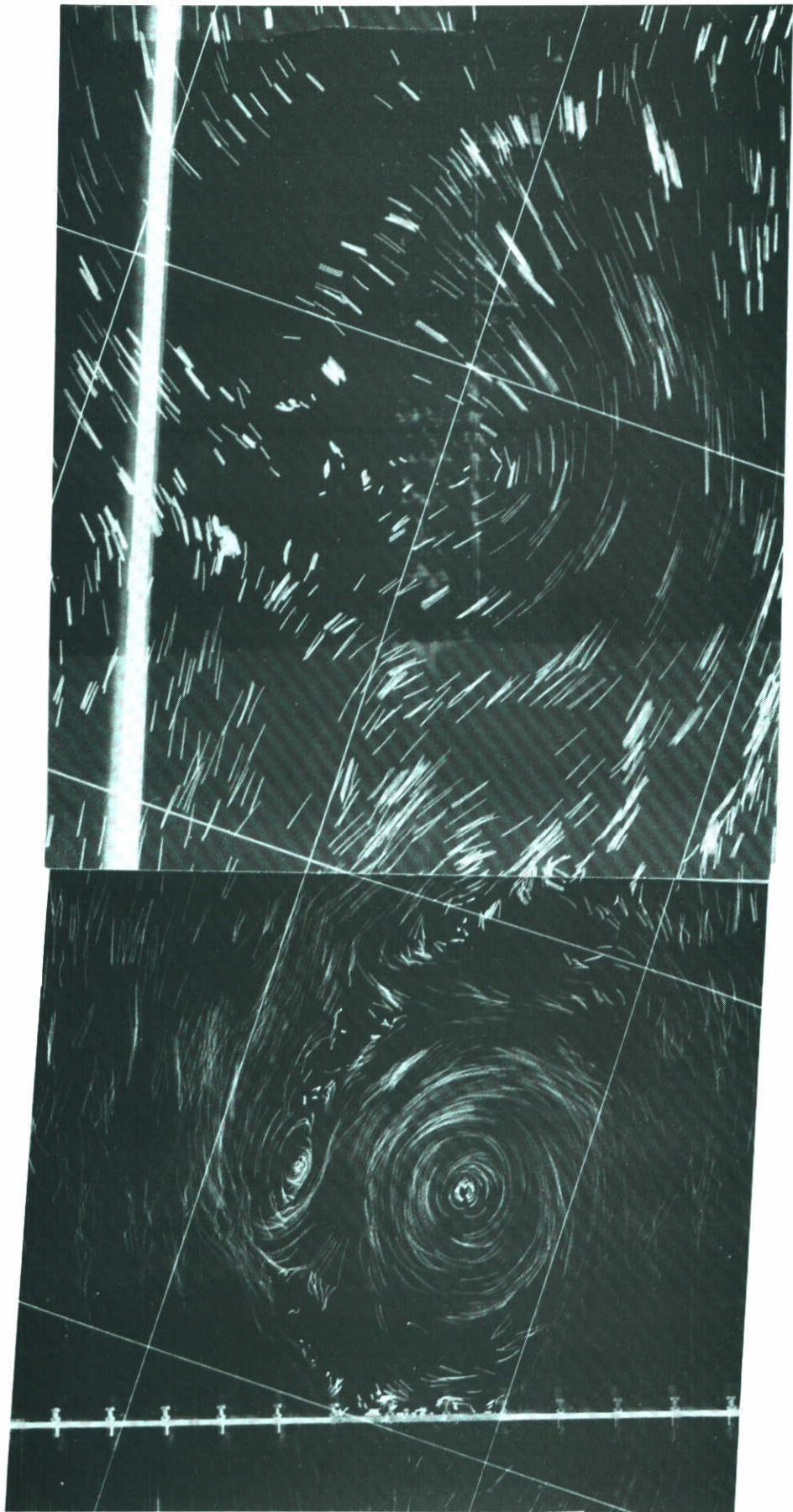
8.3 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



8.4 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

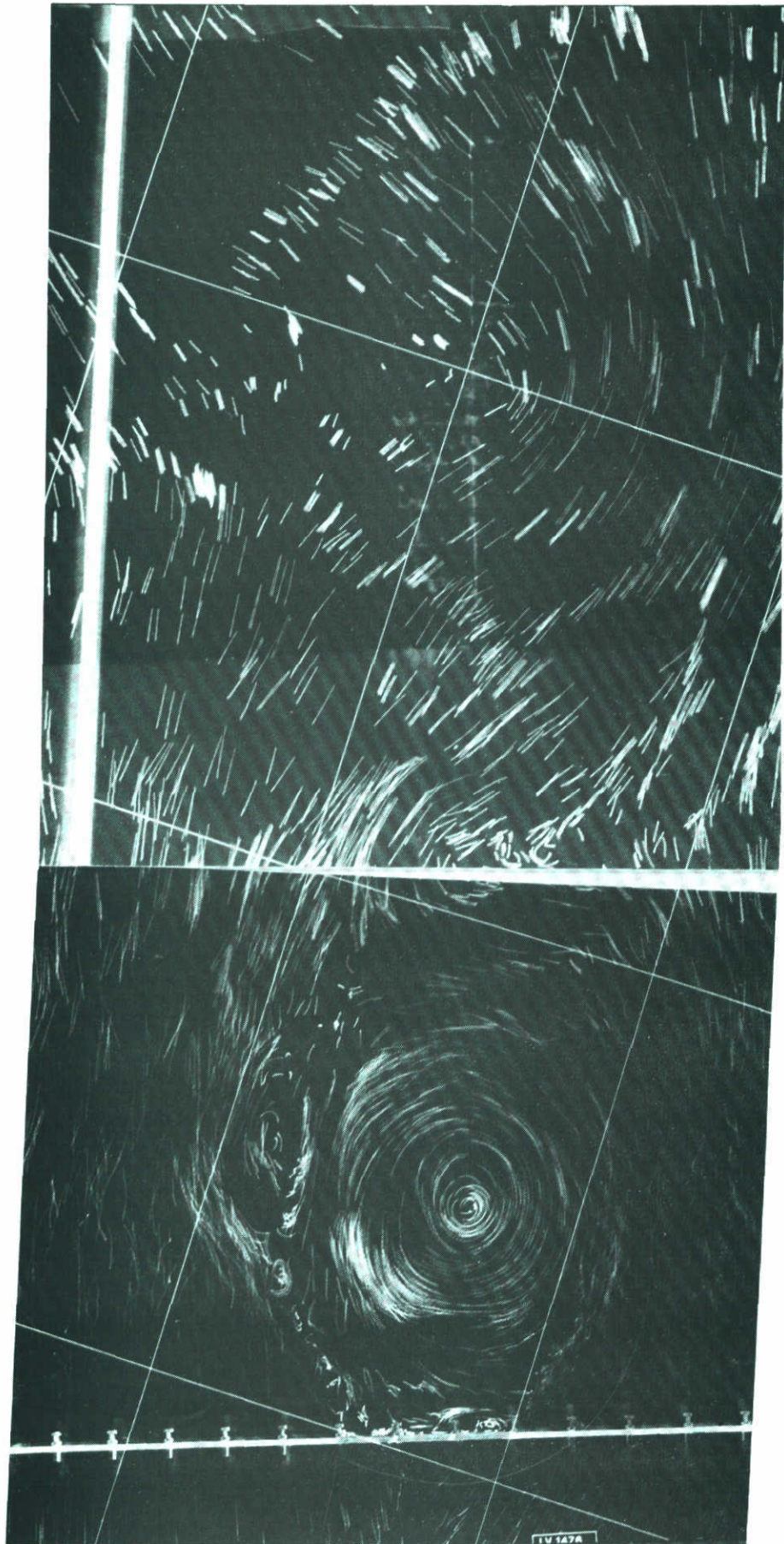


8.5 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

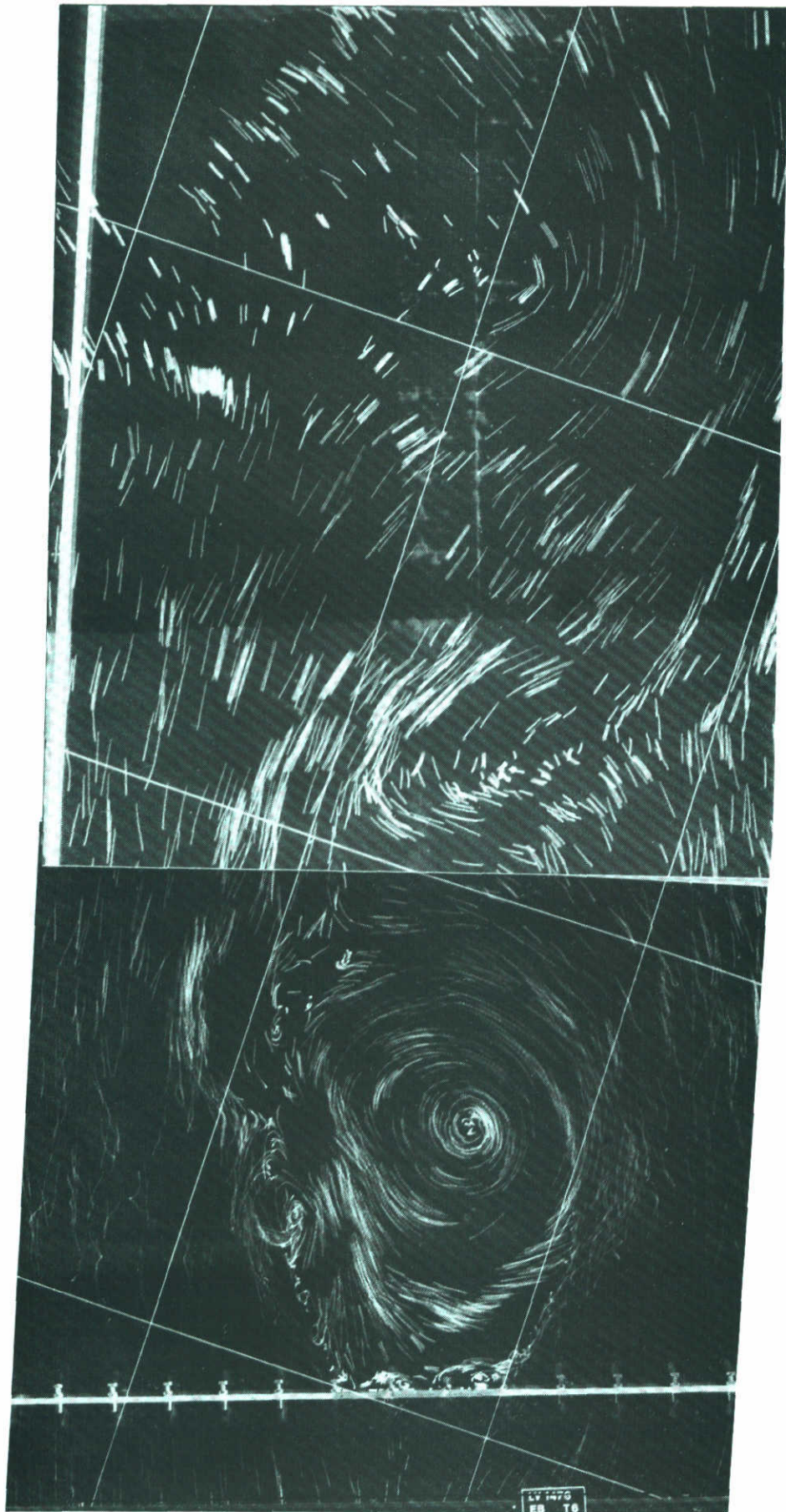


8.6 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

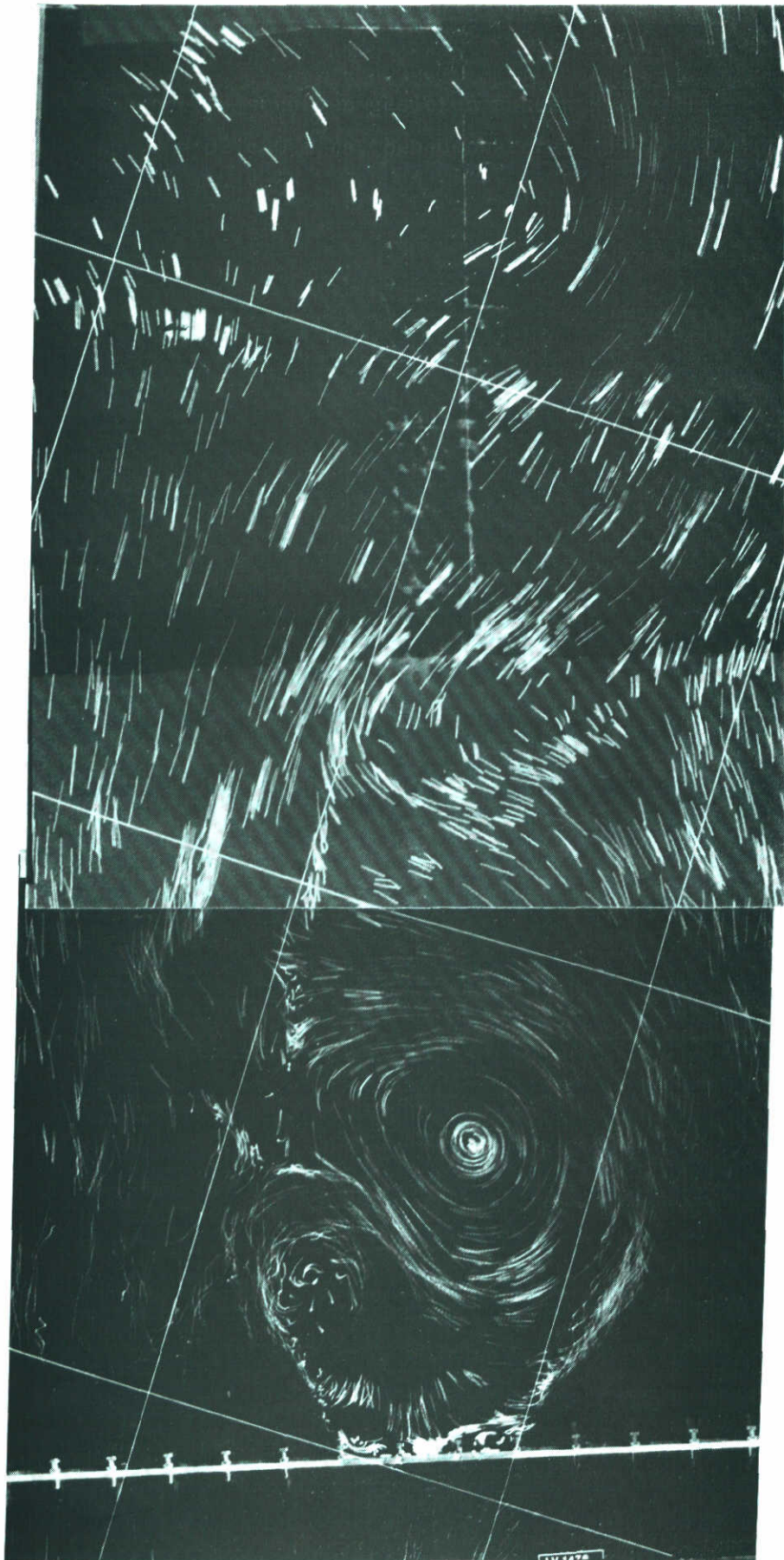




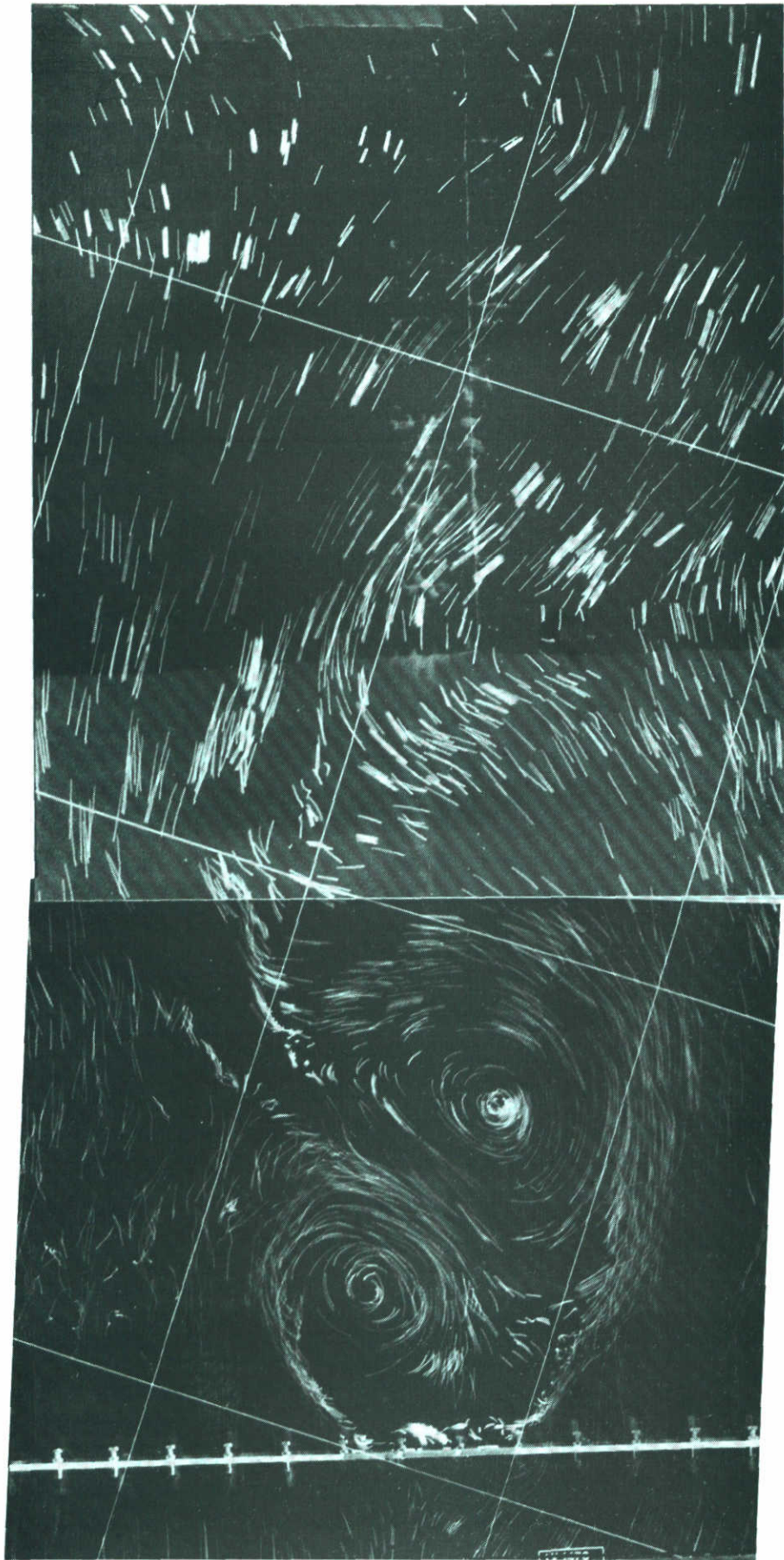
8.7 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



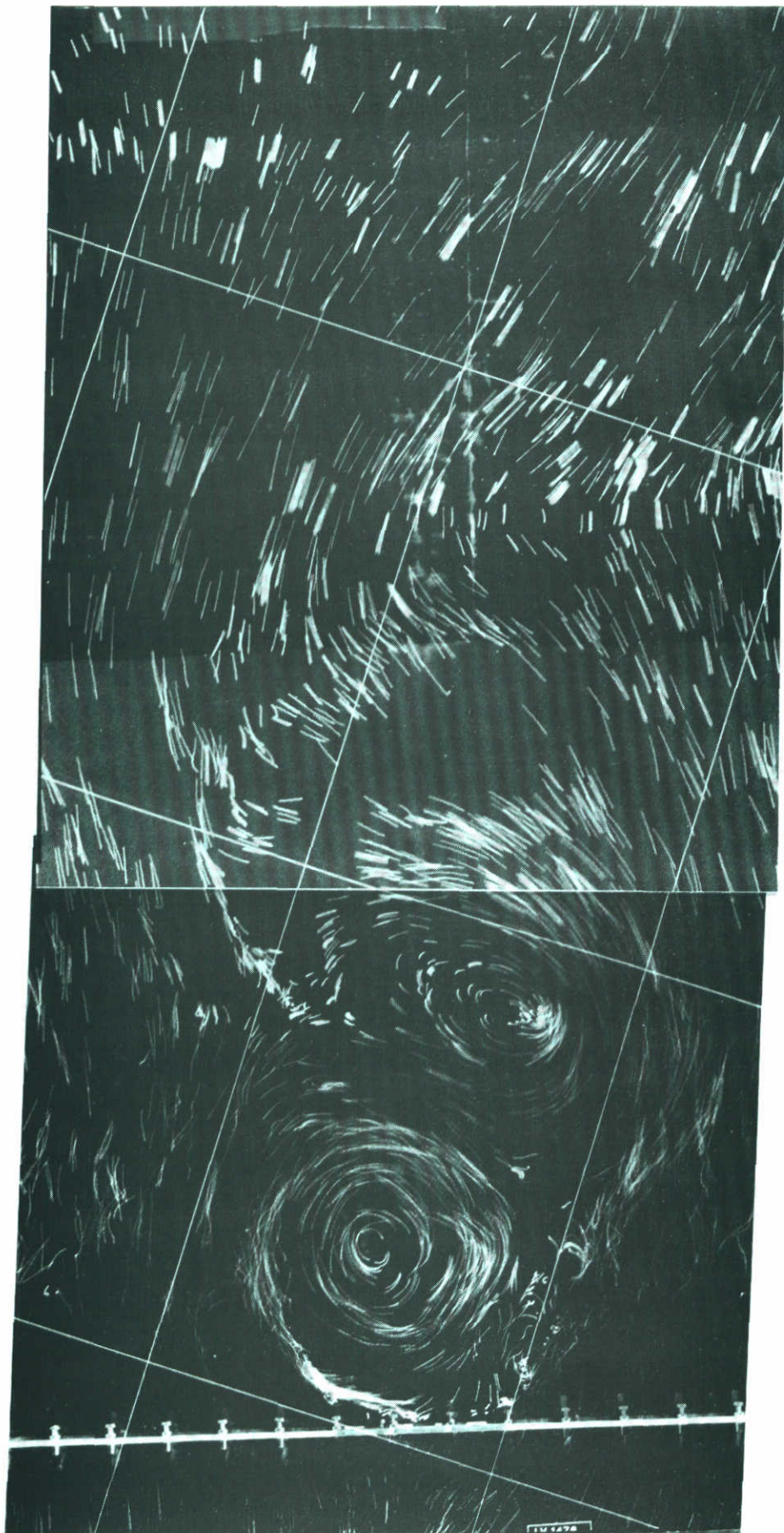
8.8 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



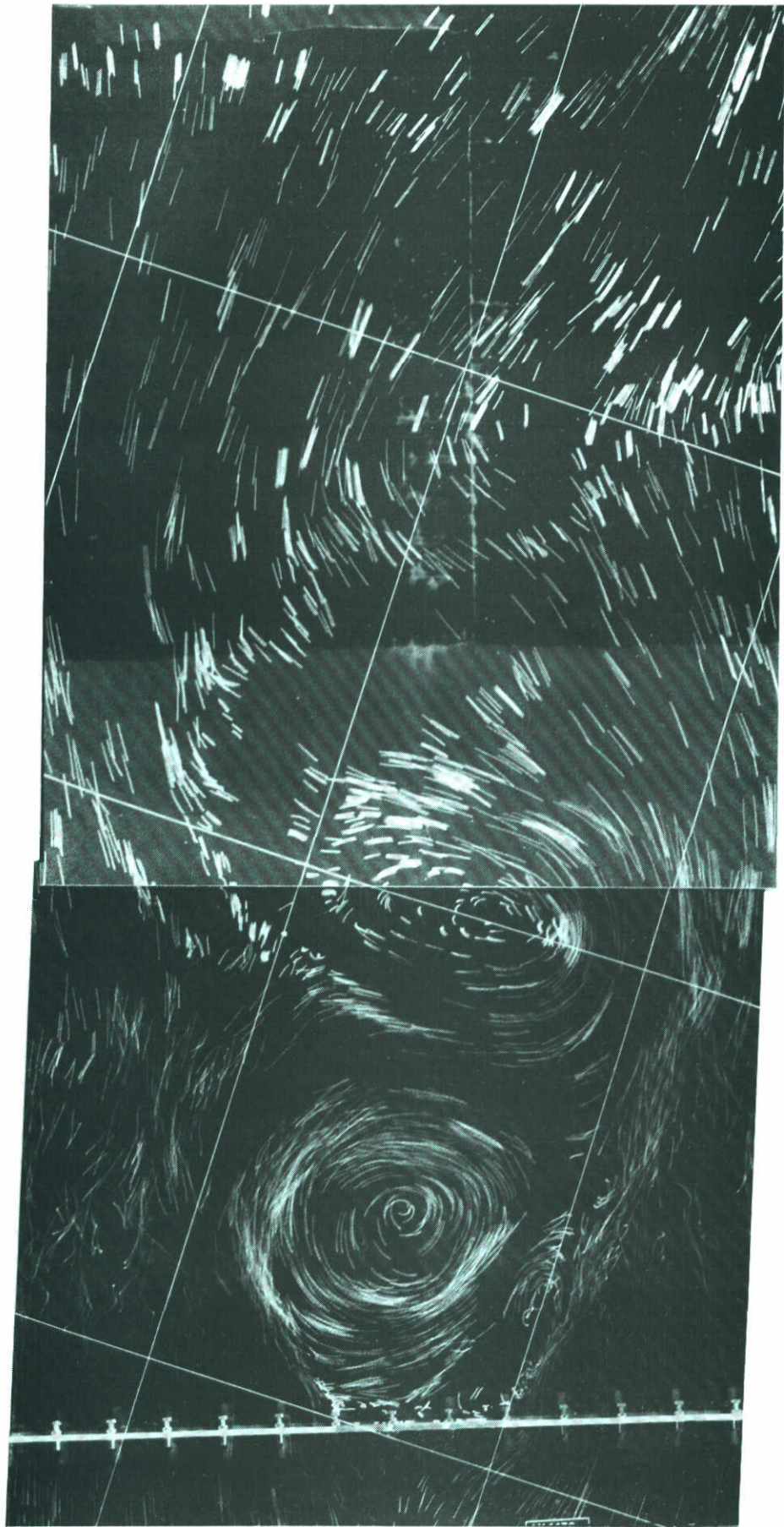
8.9 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



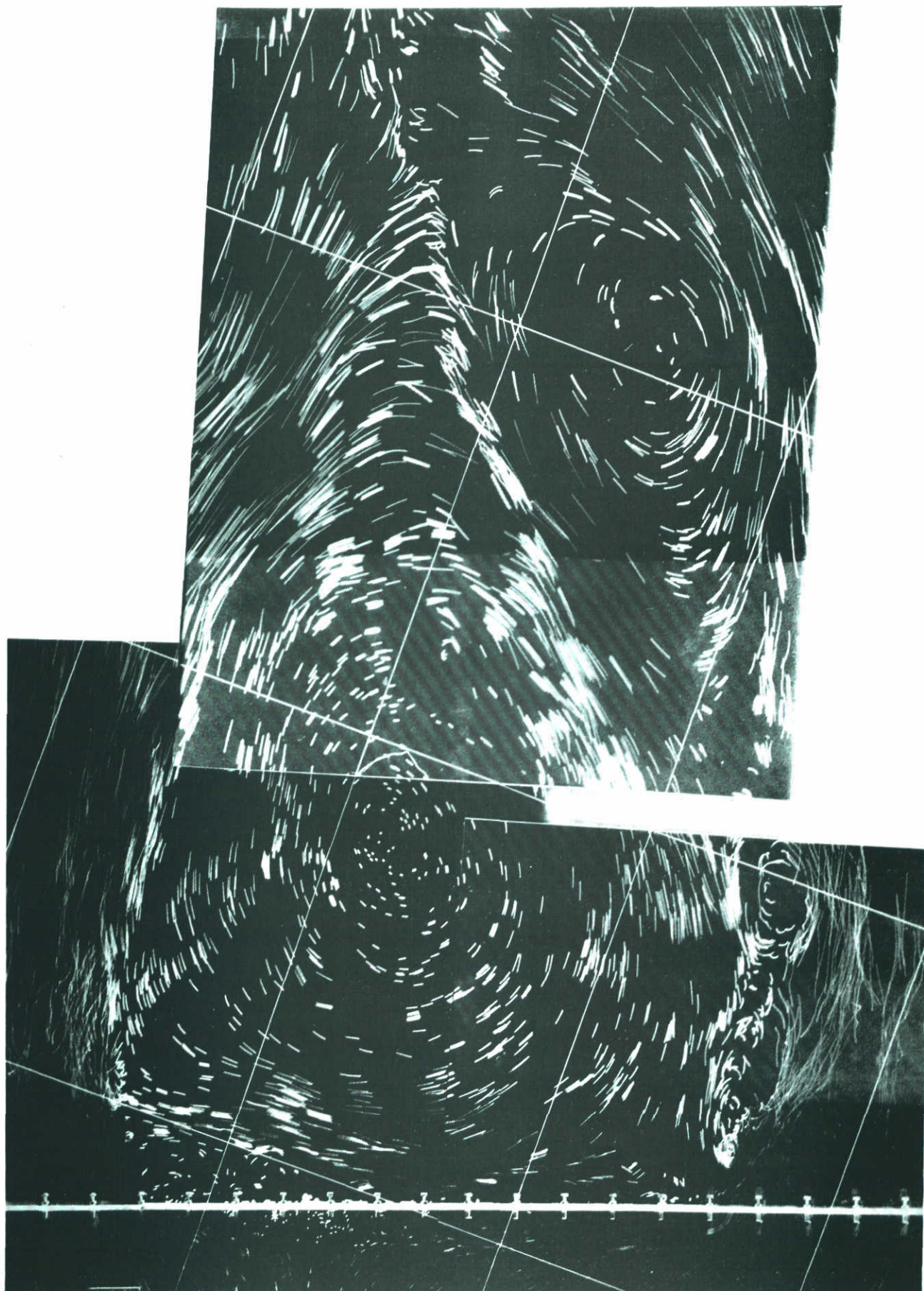
8.10 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



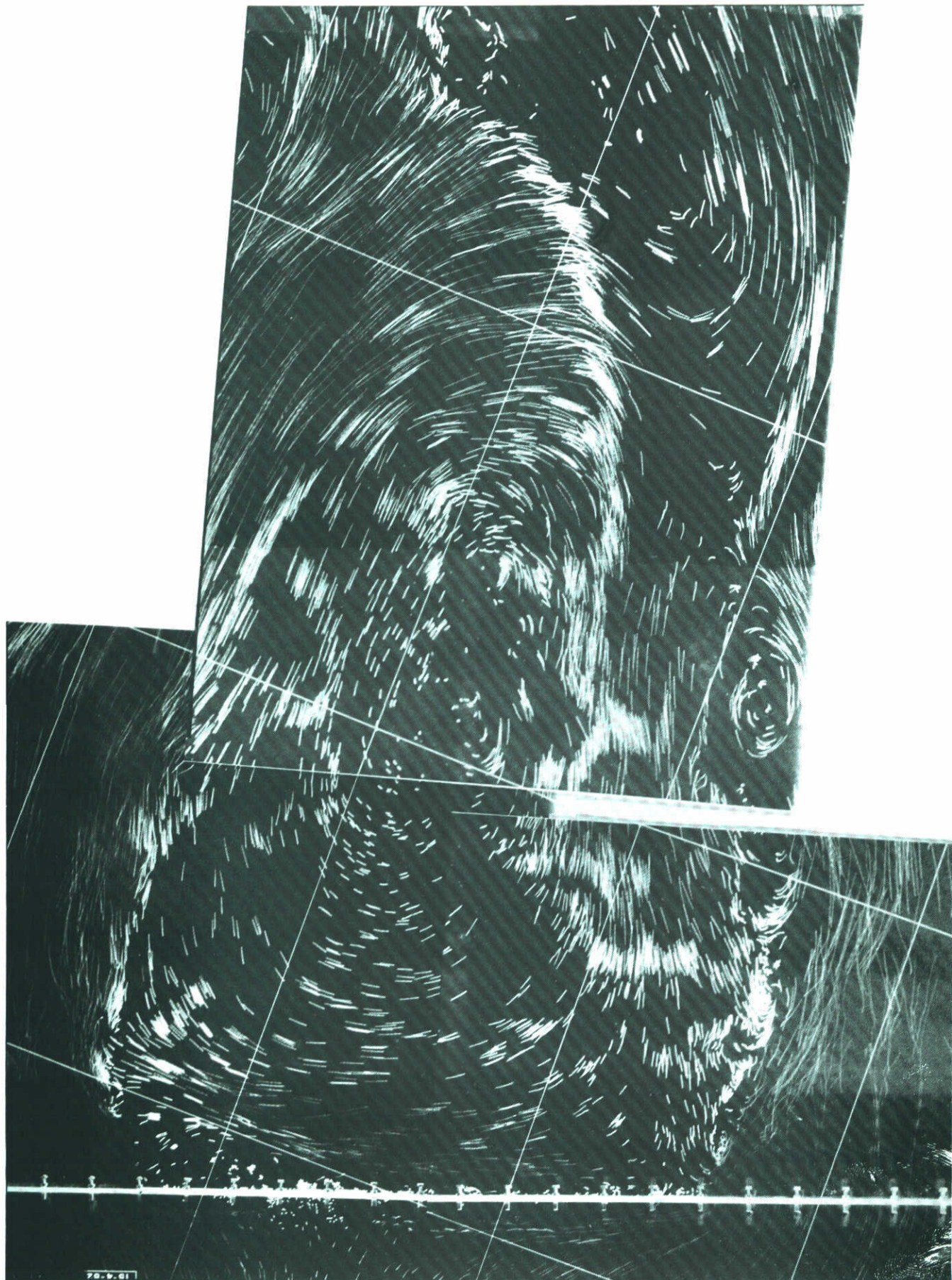
8.11 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



8.12 Roompot, 3 schuiven gesloten tussen R12 - R15  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$

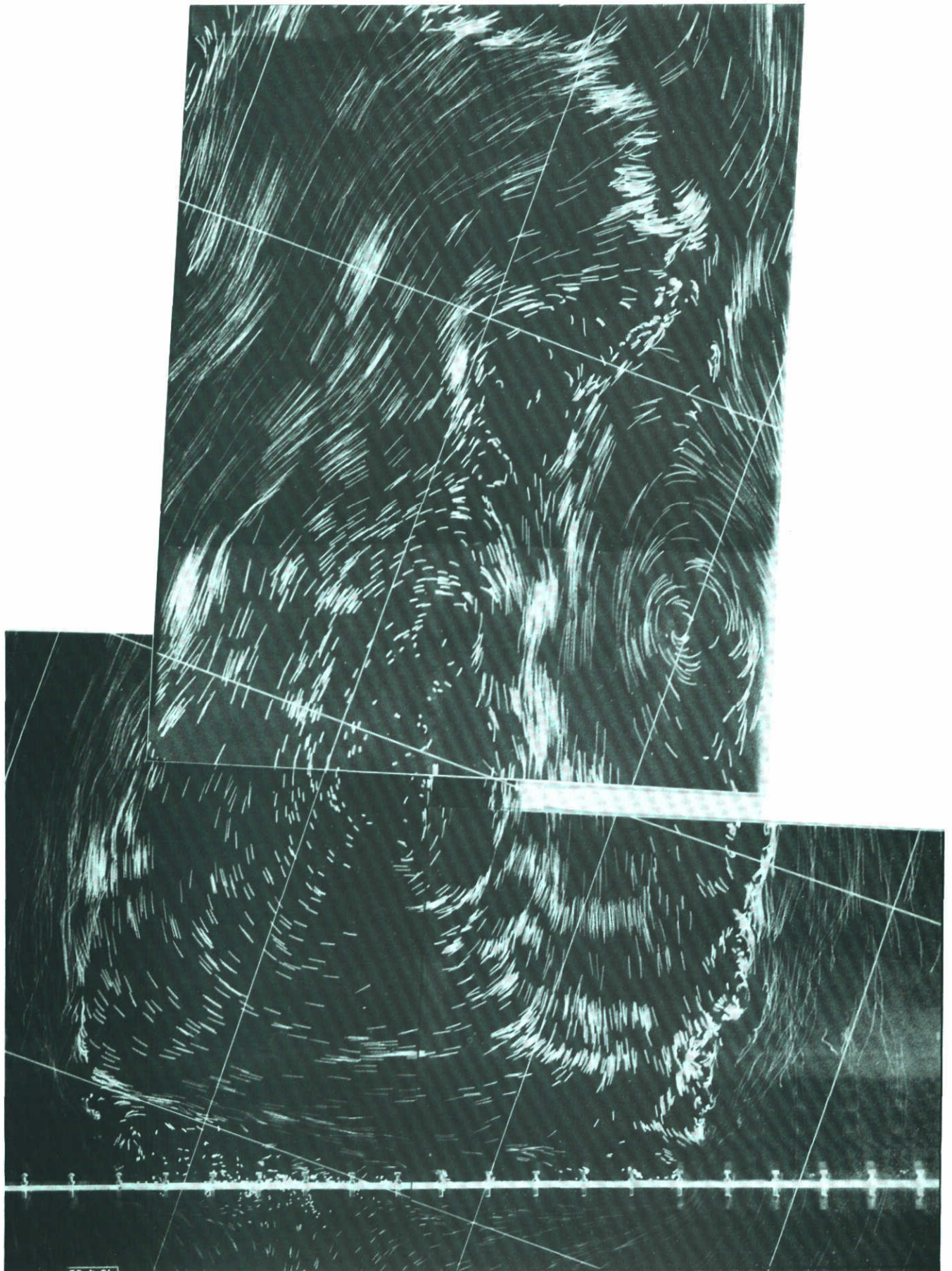


9.1 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$

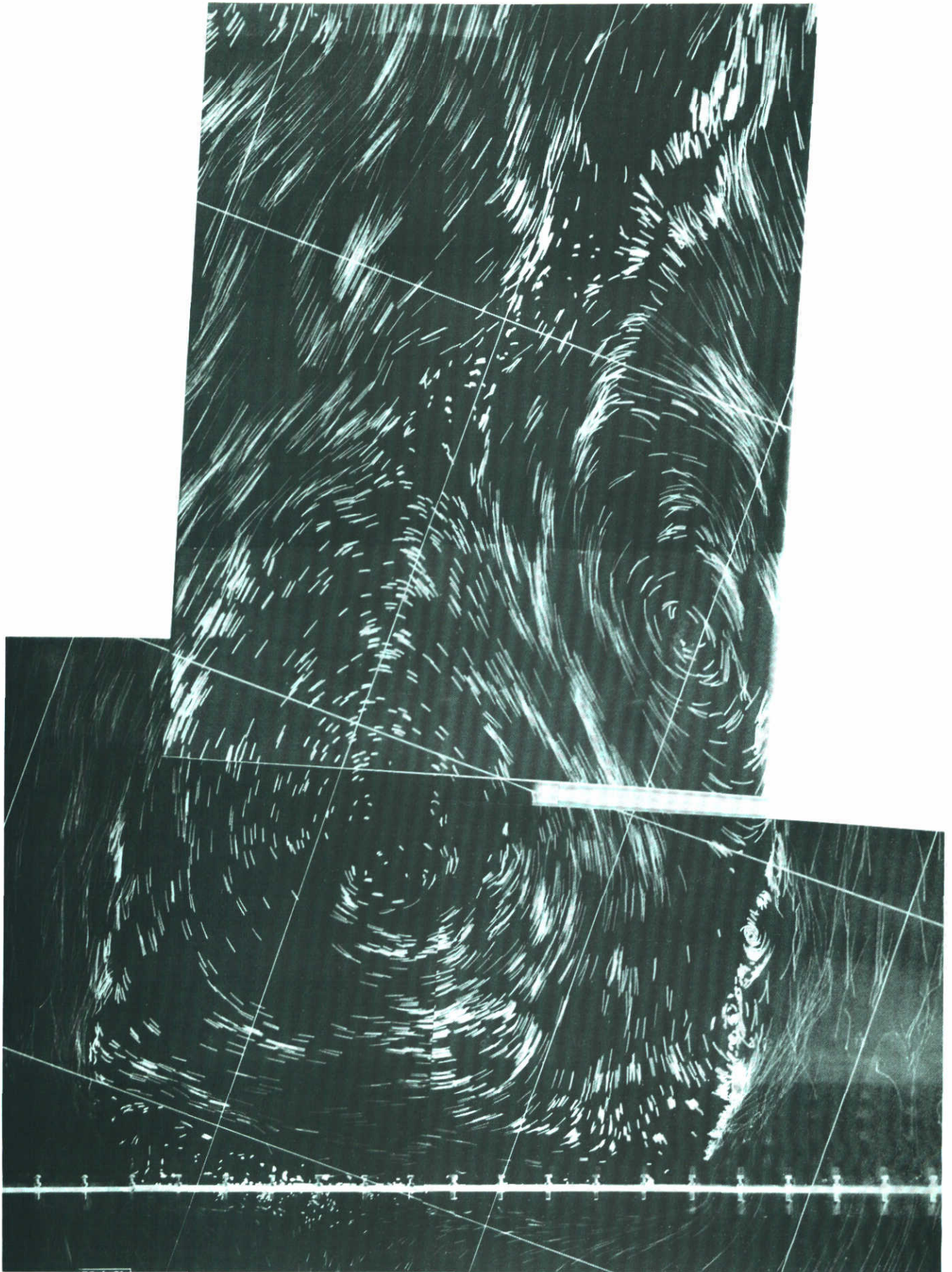


9.2 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$

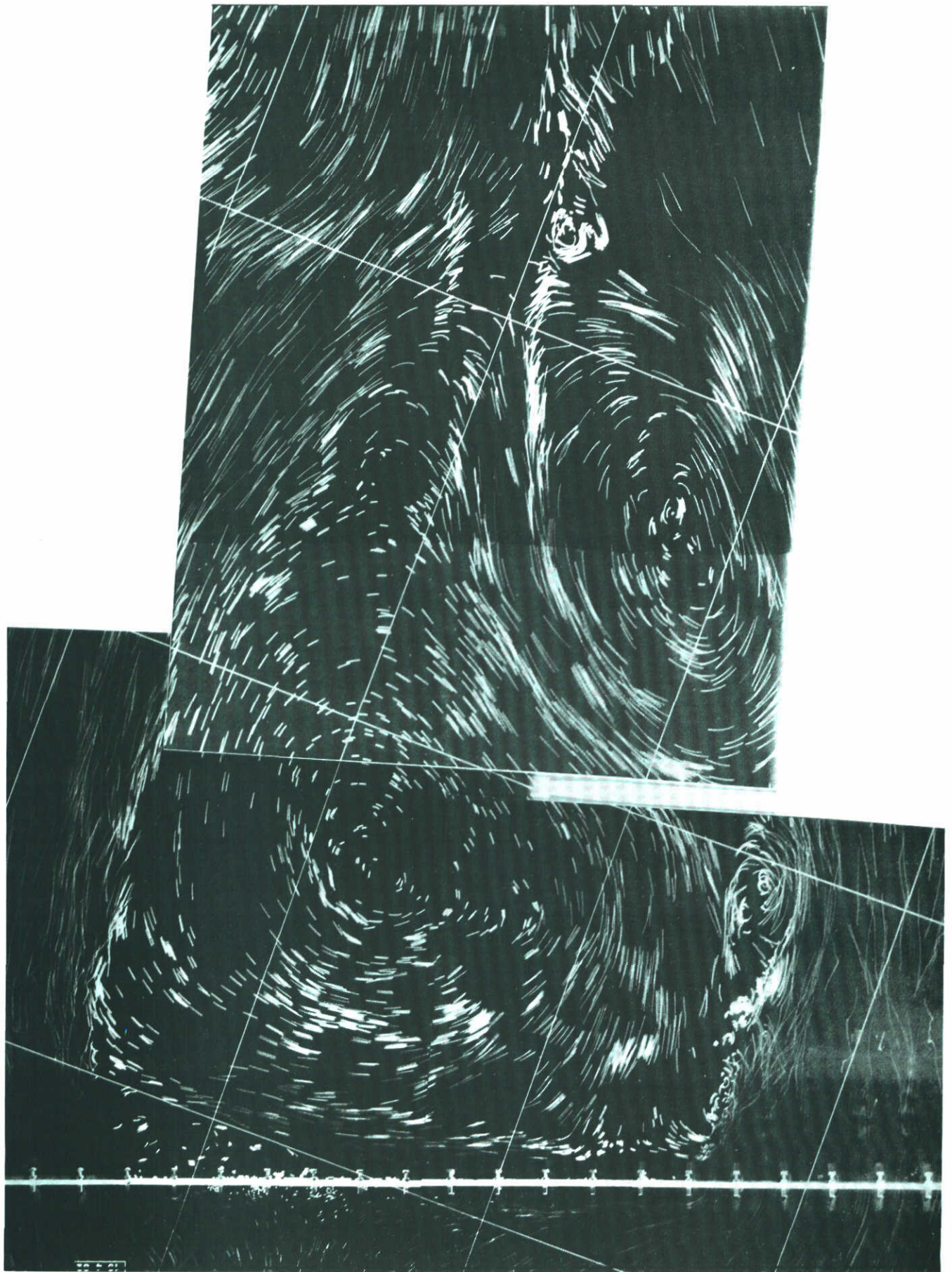




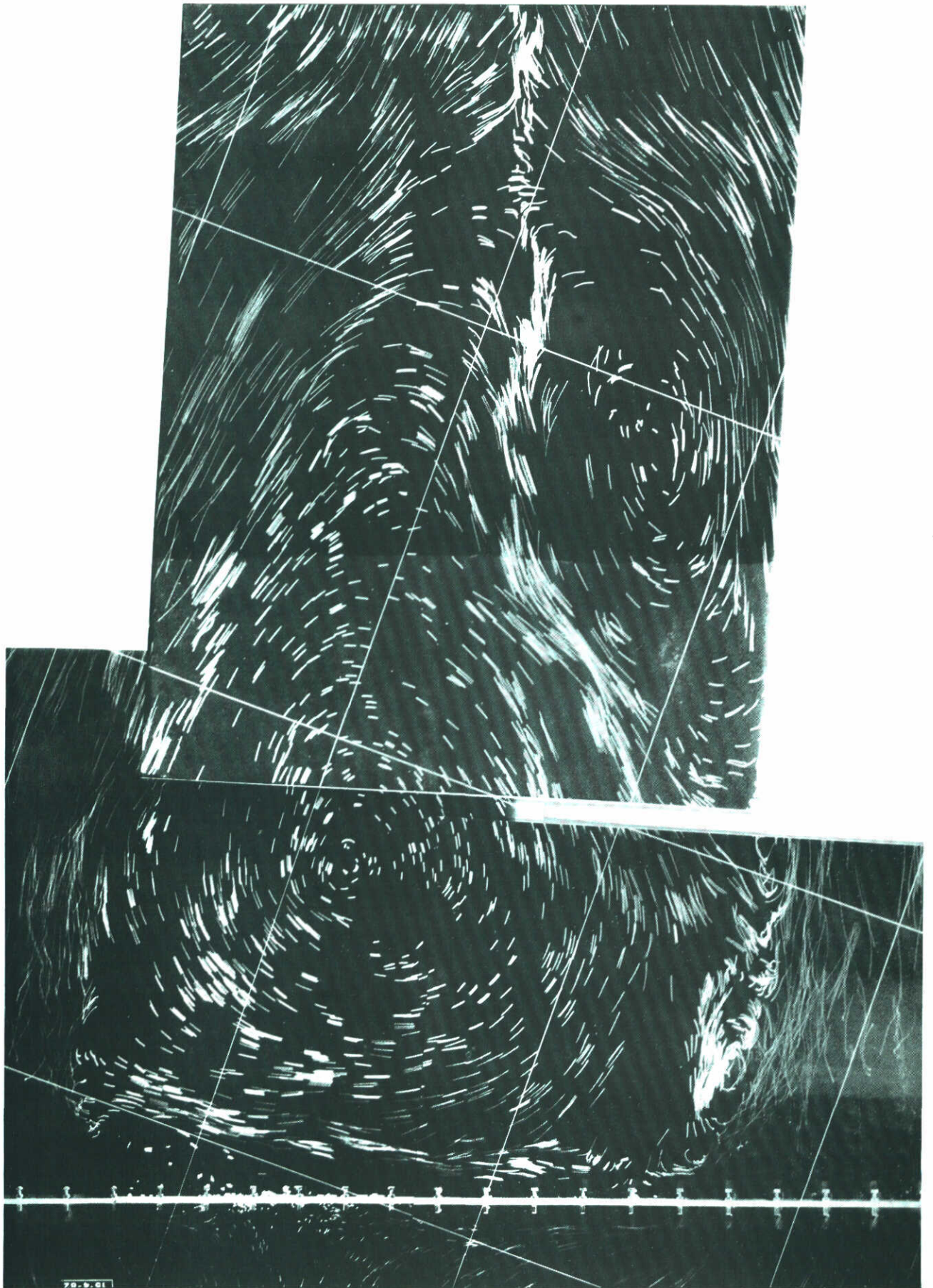
9.3 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s



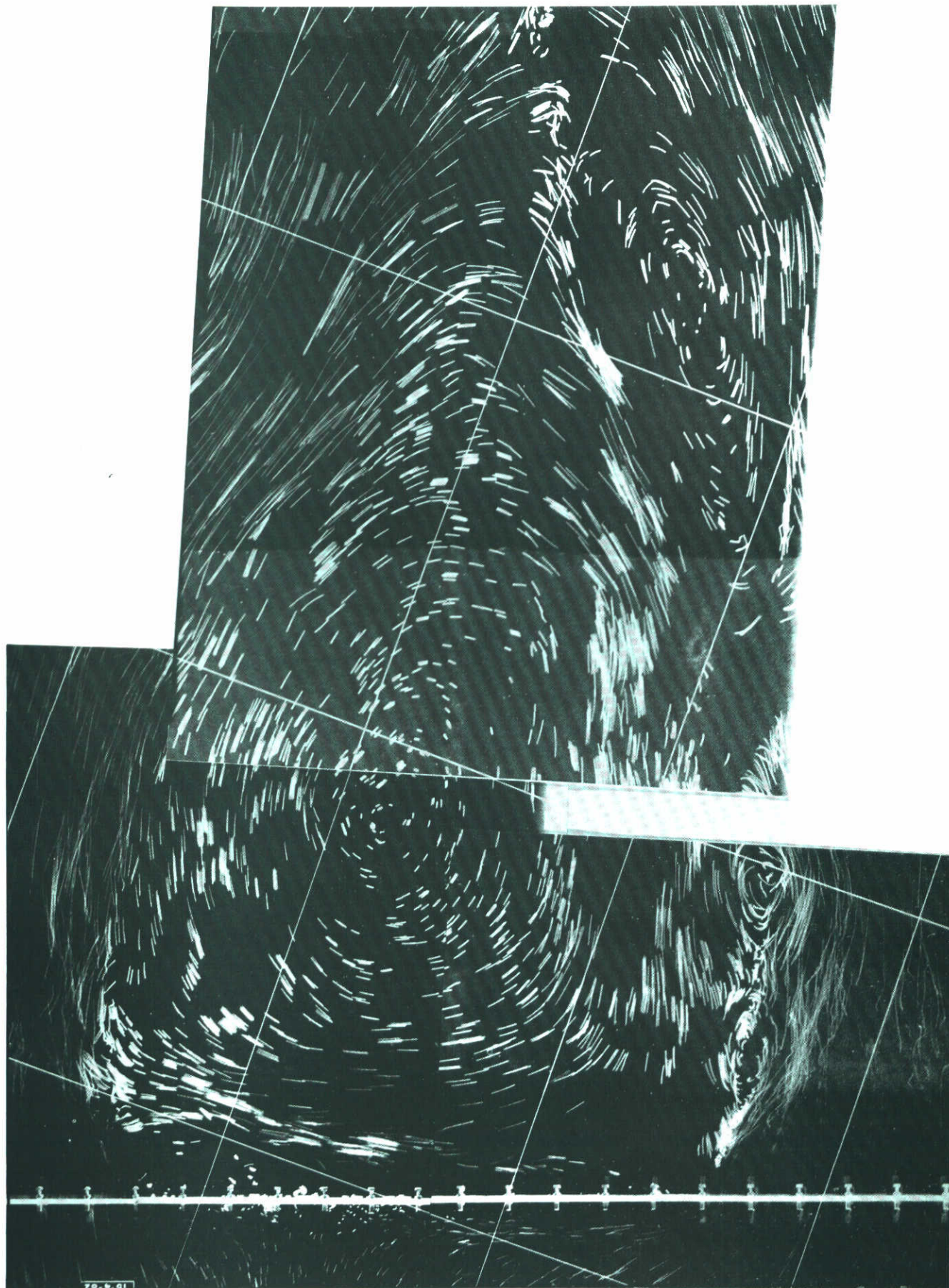
9.4 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



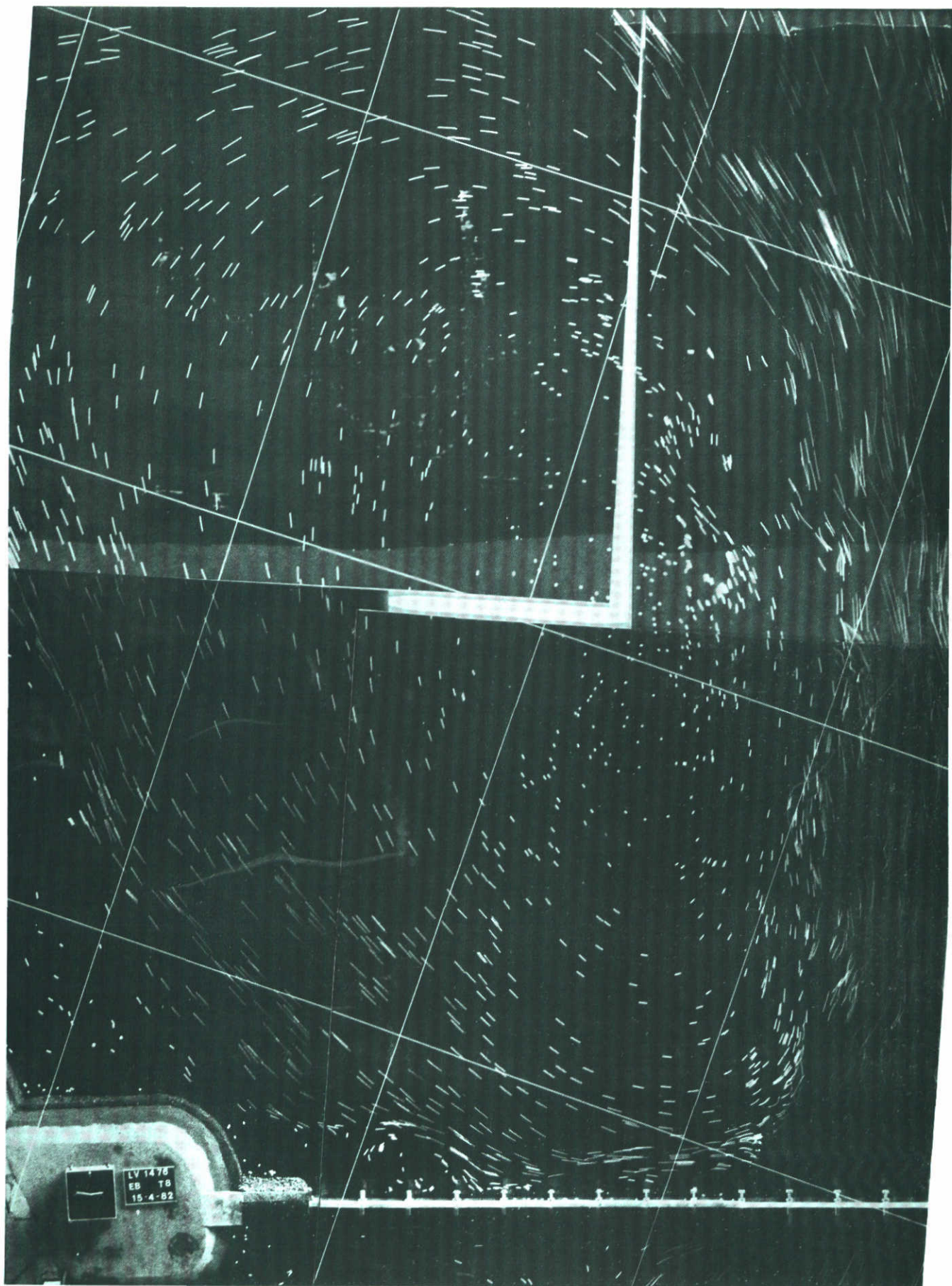
9.5 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s



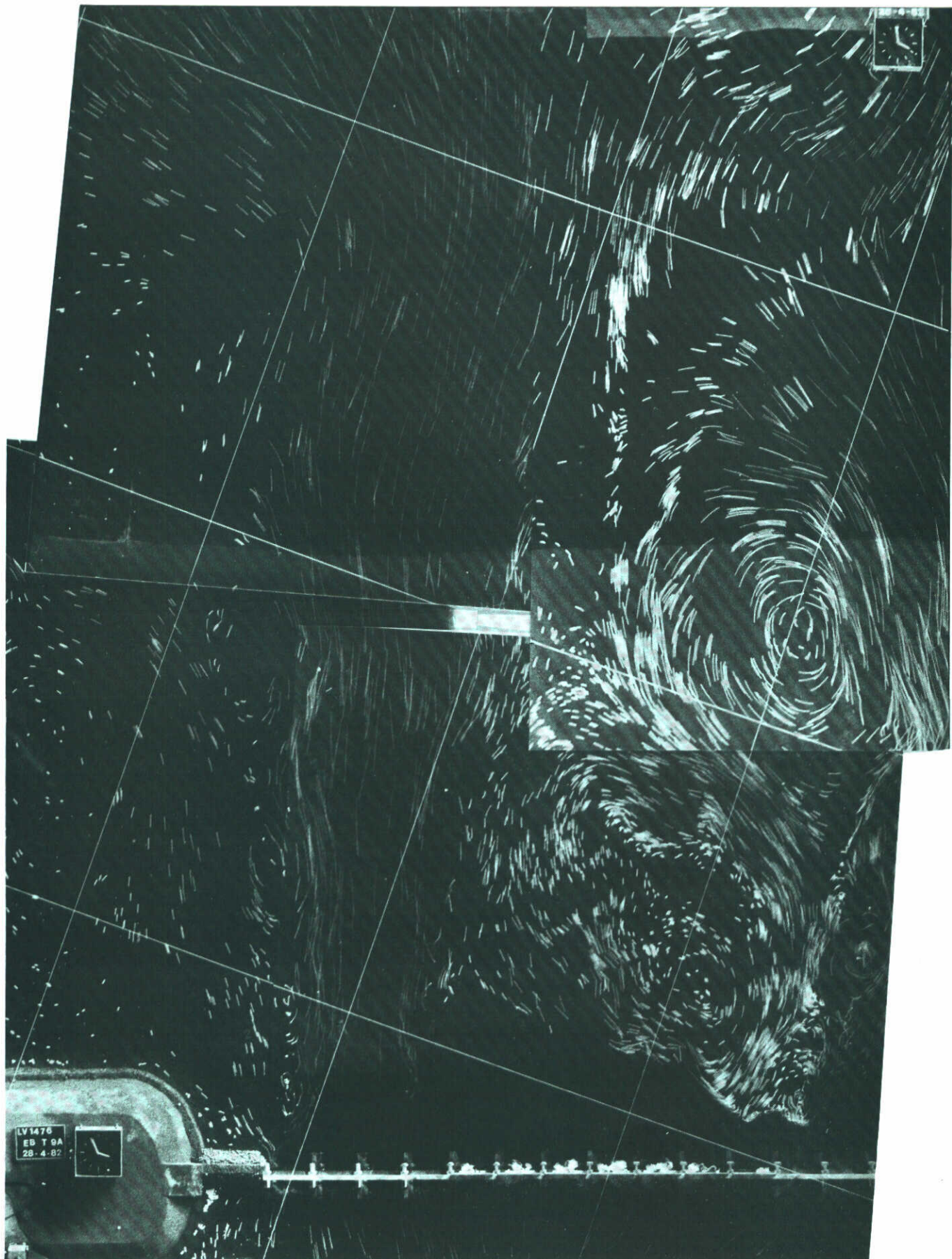
9.6 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



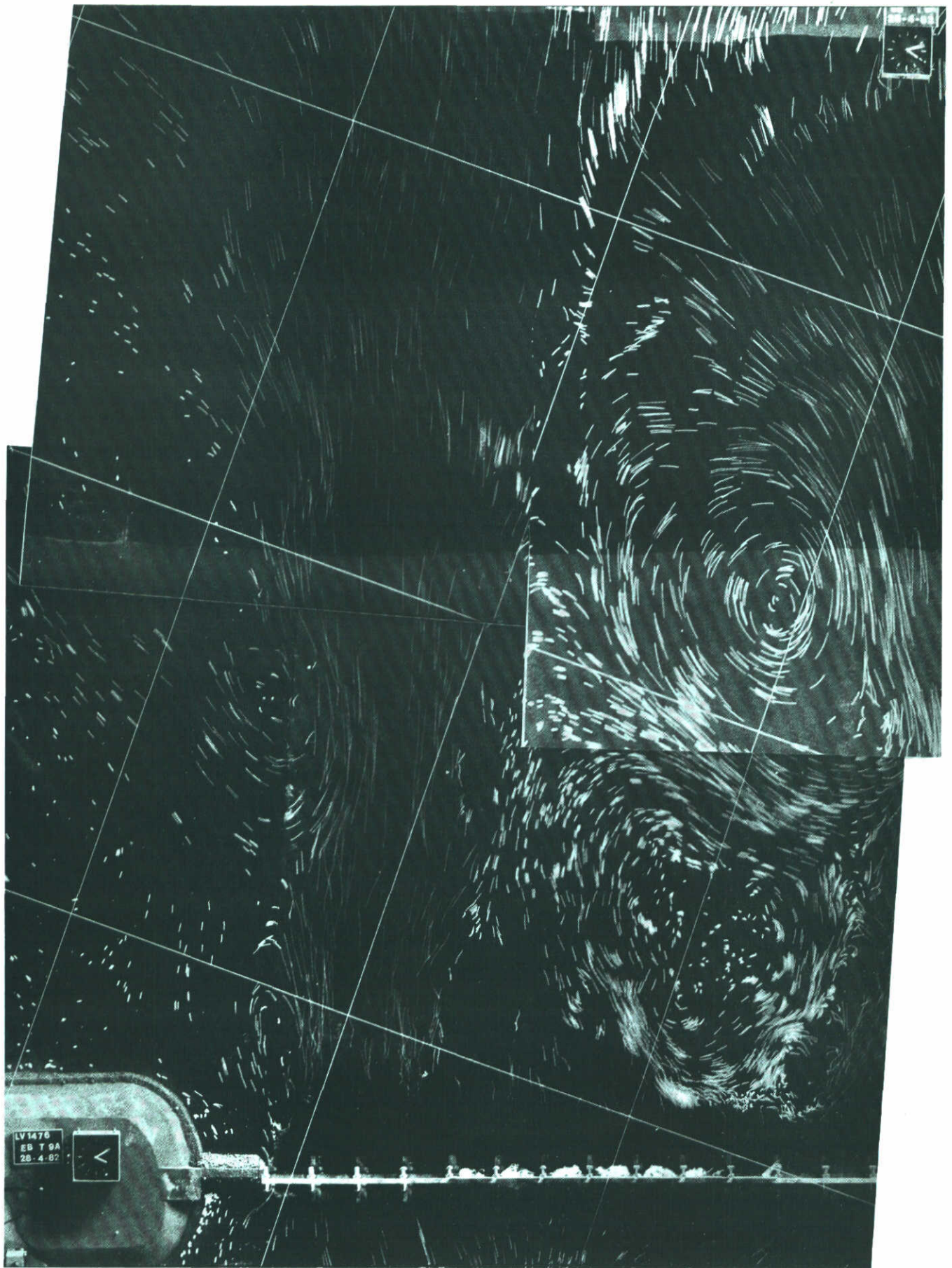
9.7 Roompot, 12 schuiven gesloten tussen R7 - R19  
eb,  $Q = 28.540 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,23 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$



10 Roompot, 9 schuiven gesloten tussen R1 - R10  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\approx$  1,86 m/s

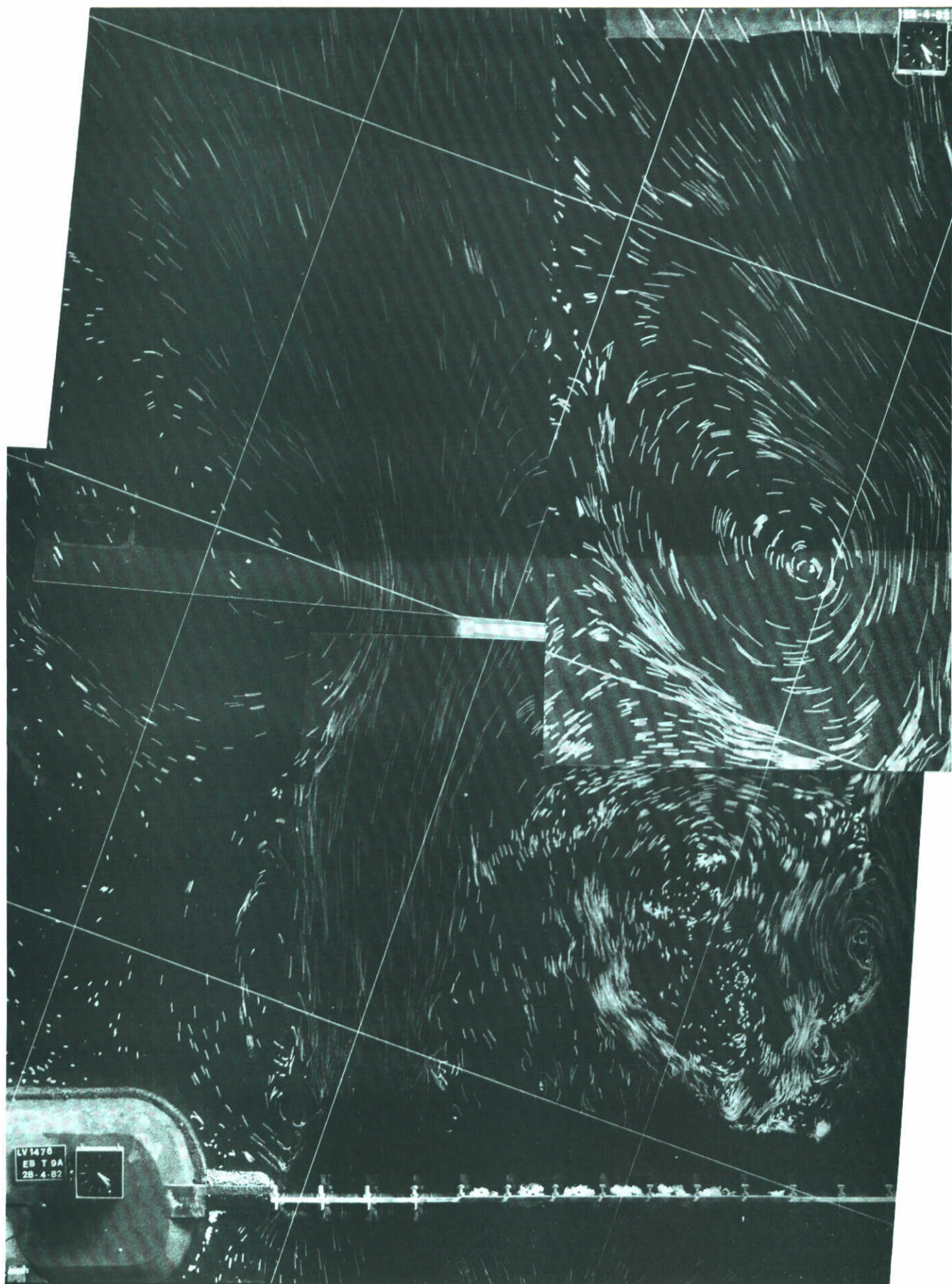


11.1 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

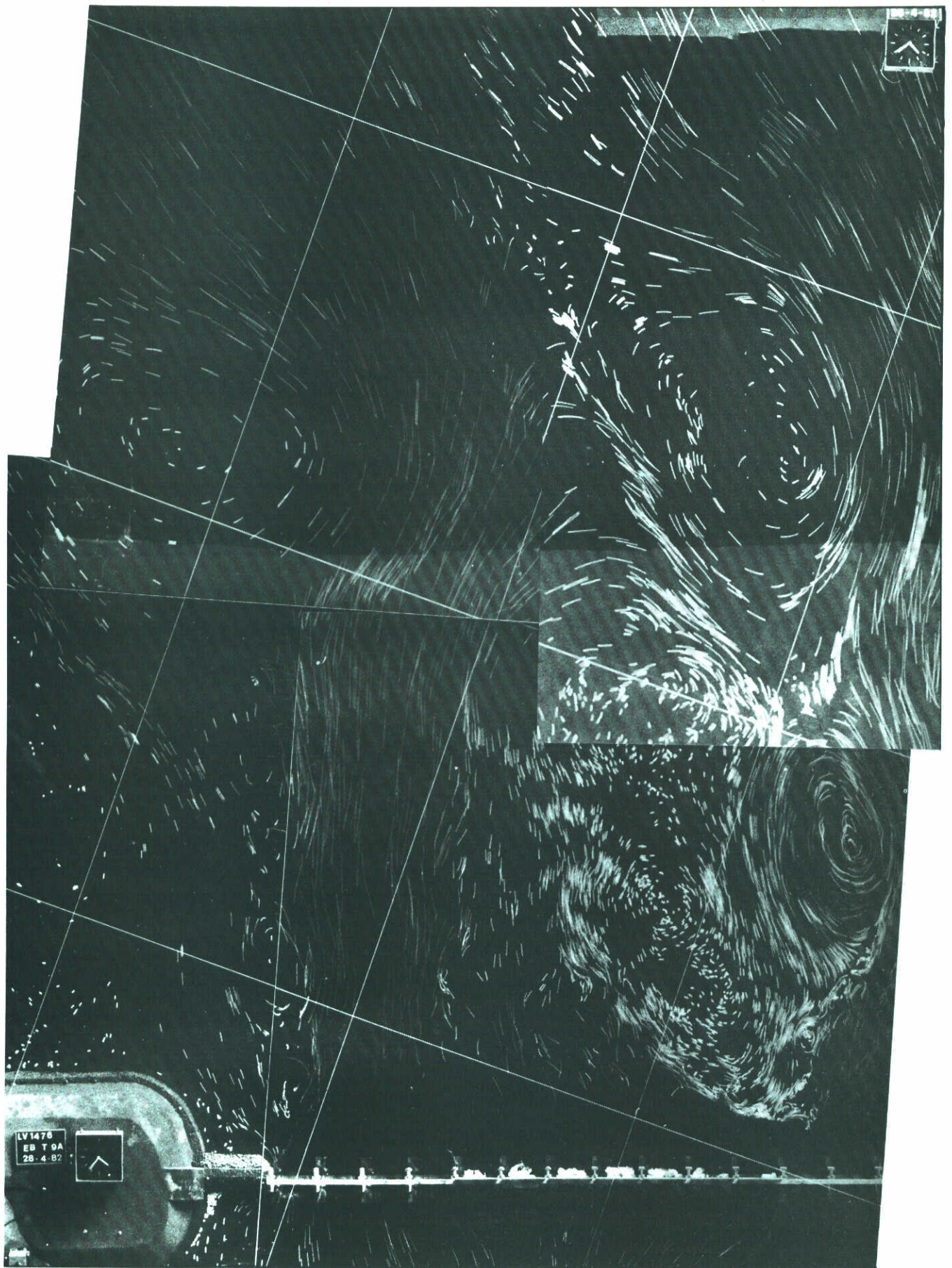


11.2 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\cong$  1,86 m/s

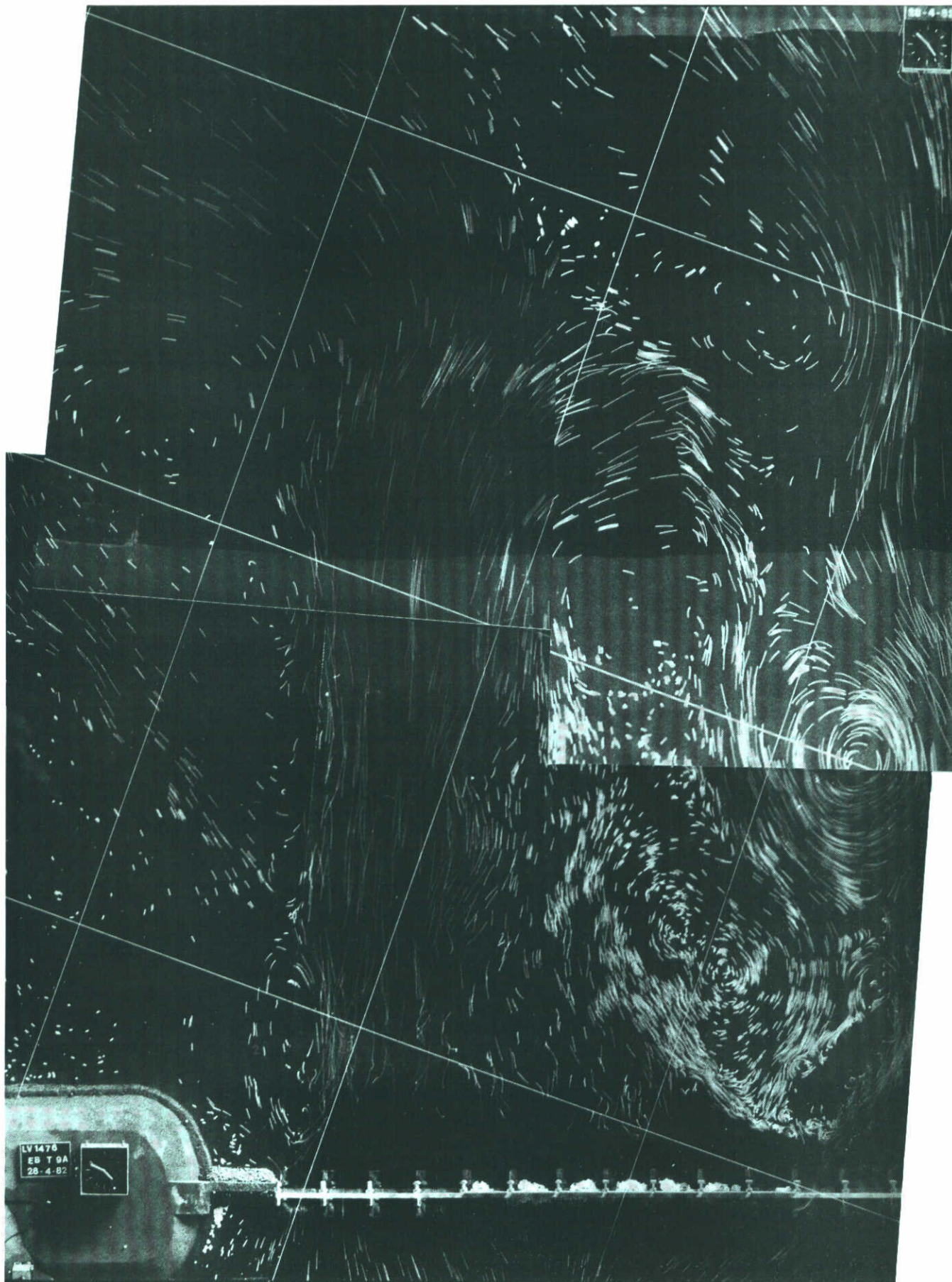




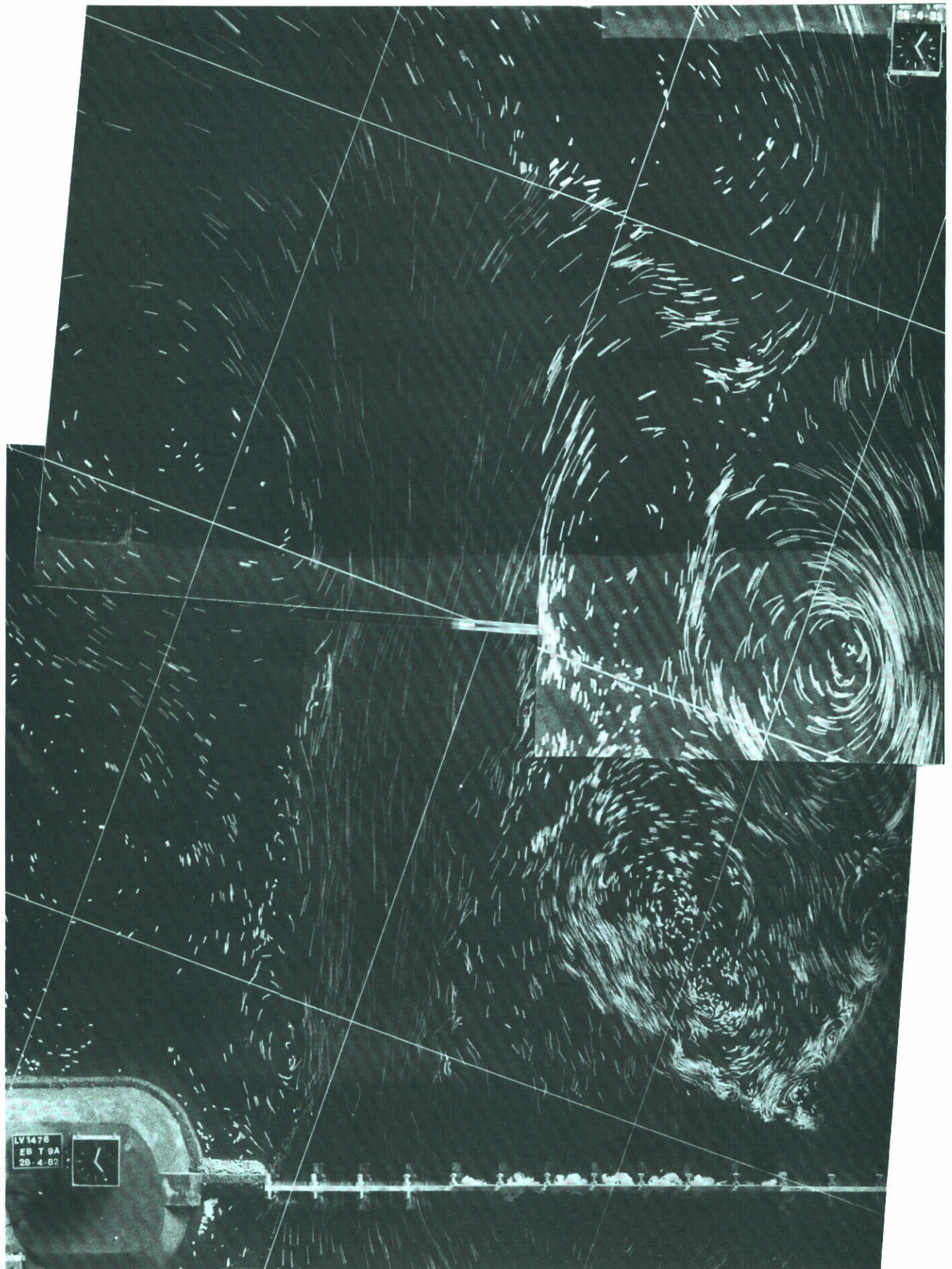
11.3 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$



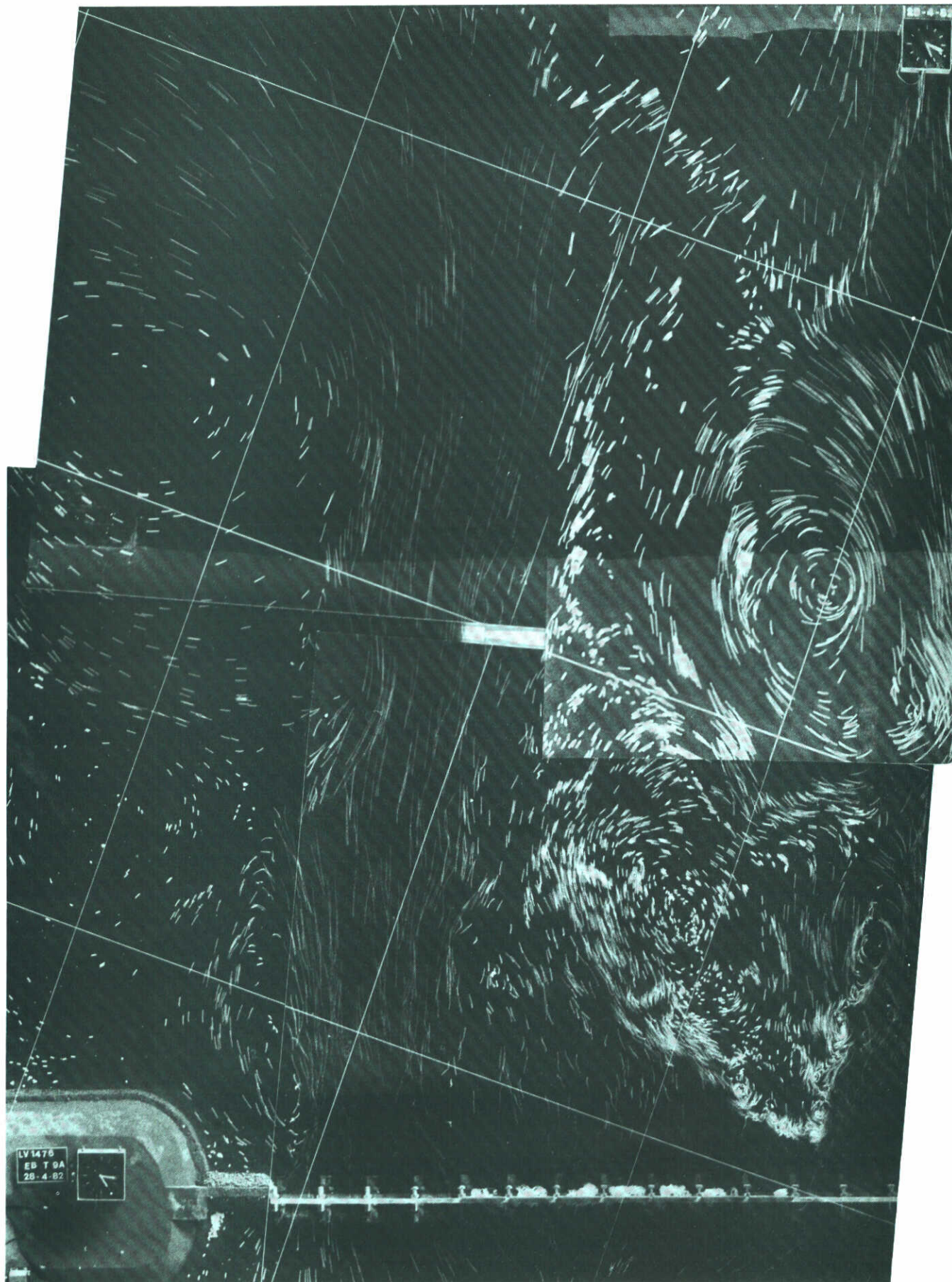
11.4 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
 eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



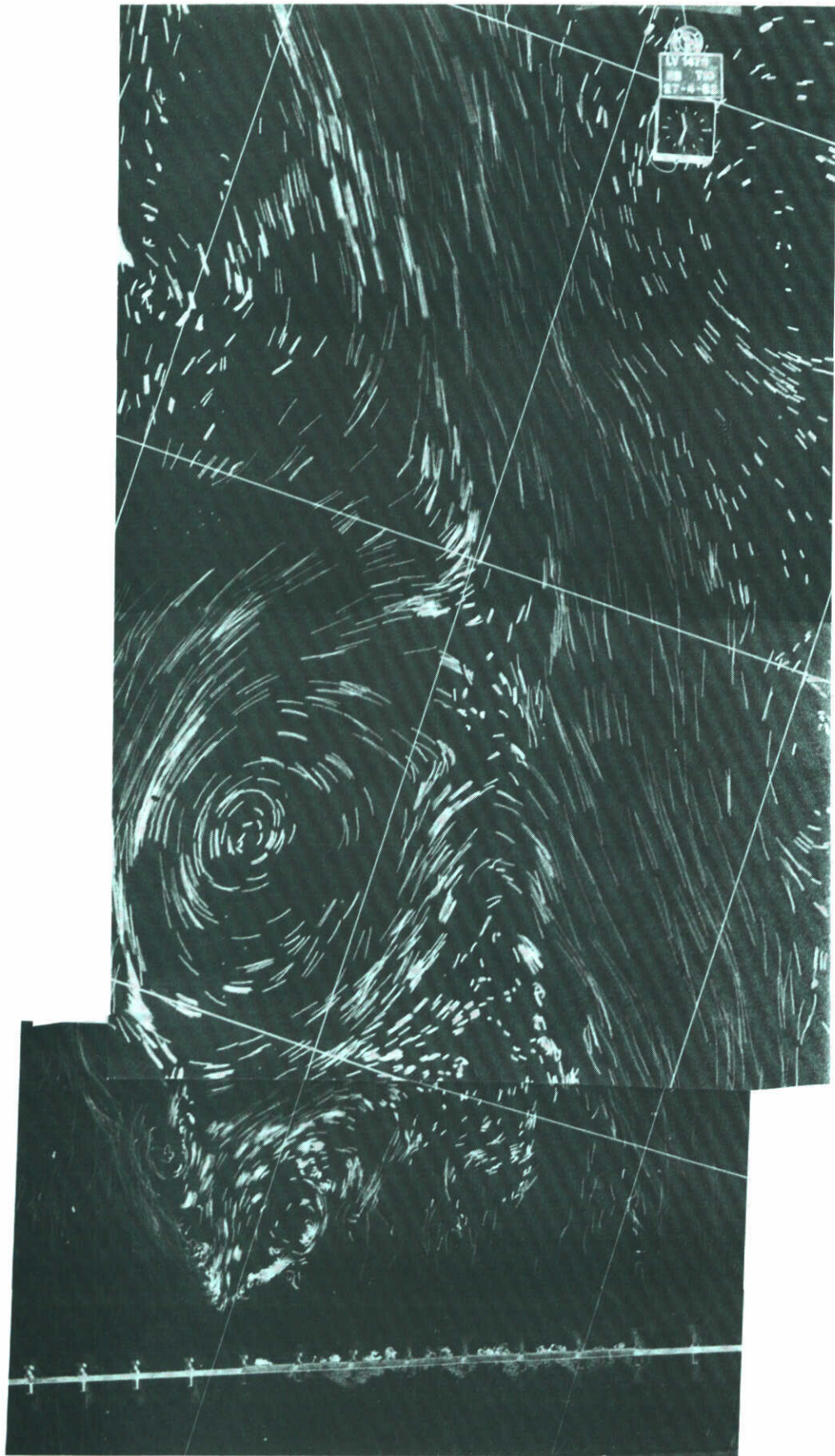
11.5 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
 eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



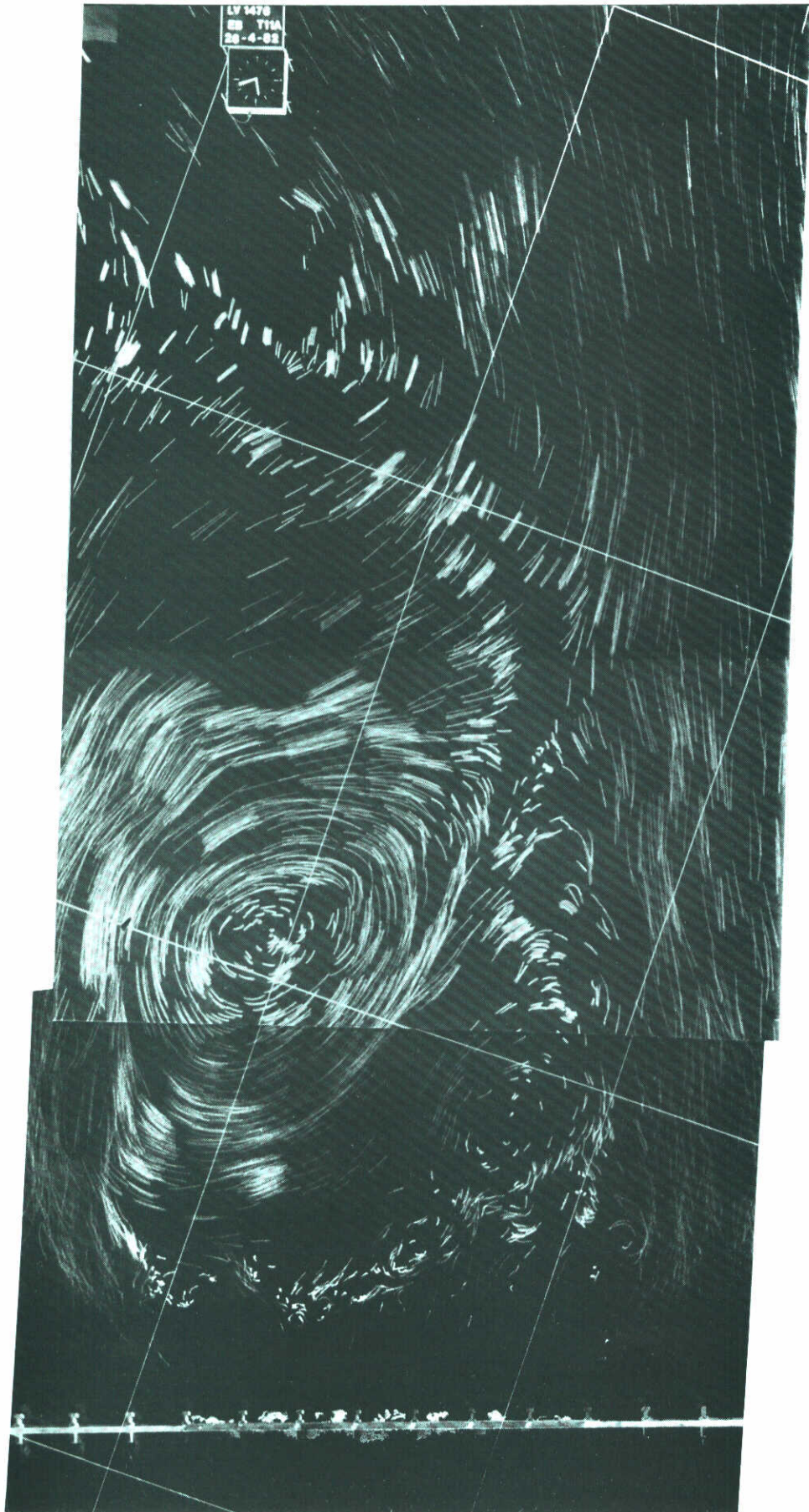
11.6 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
 eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



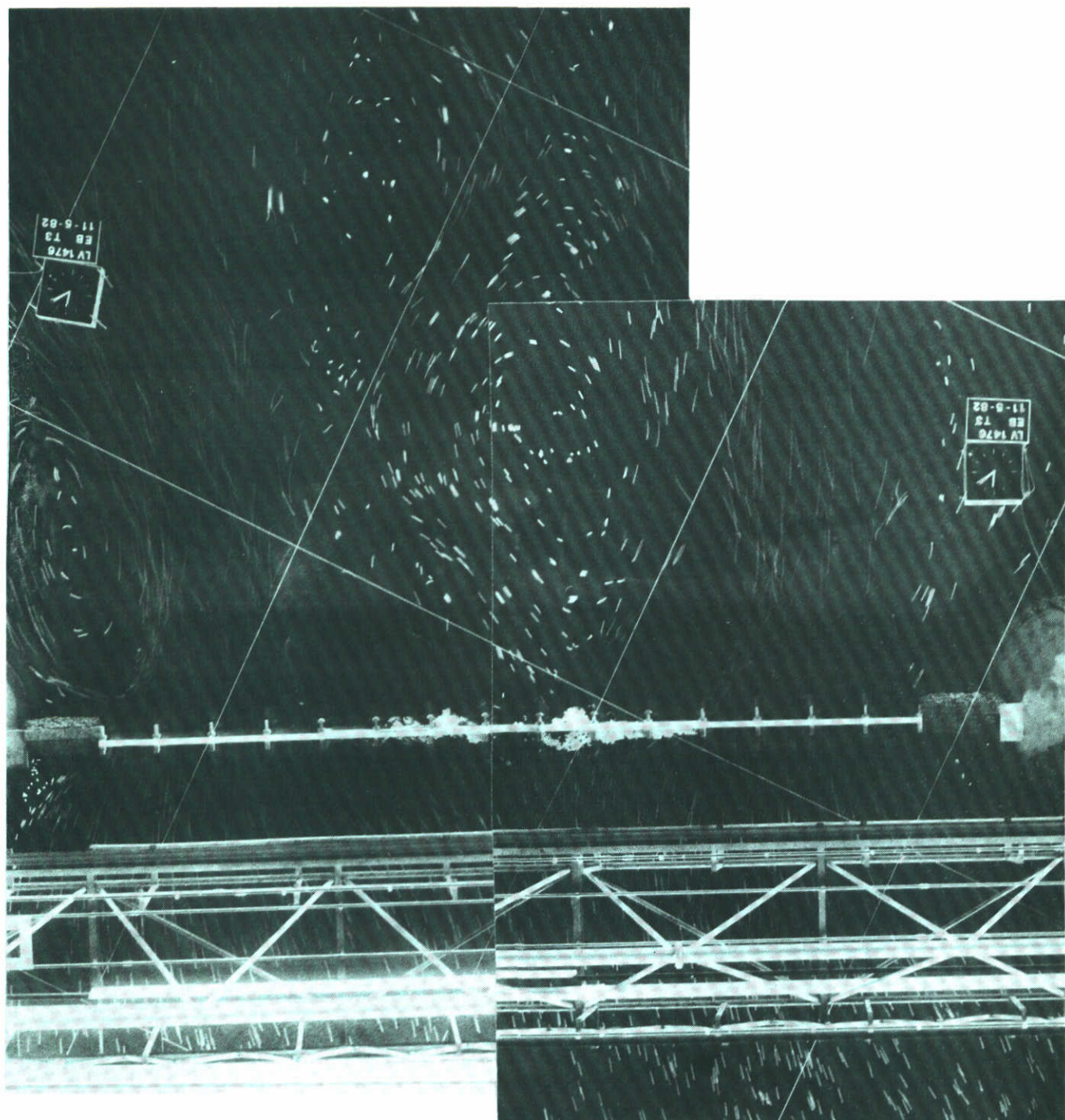
11.7 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R5 - R12, variant 4  
 eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000  $1 \text{ cm} \hat{=} 1,86 \text{ m/s}$



12 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R22 - R29, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000                      1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

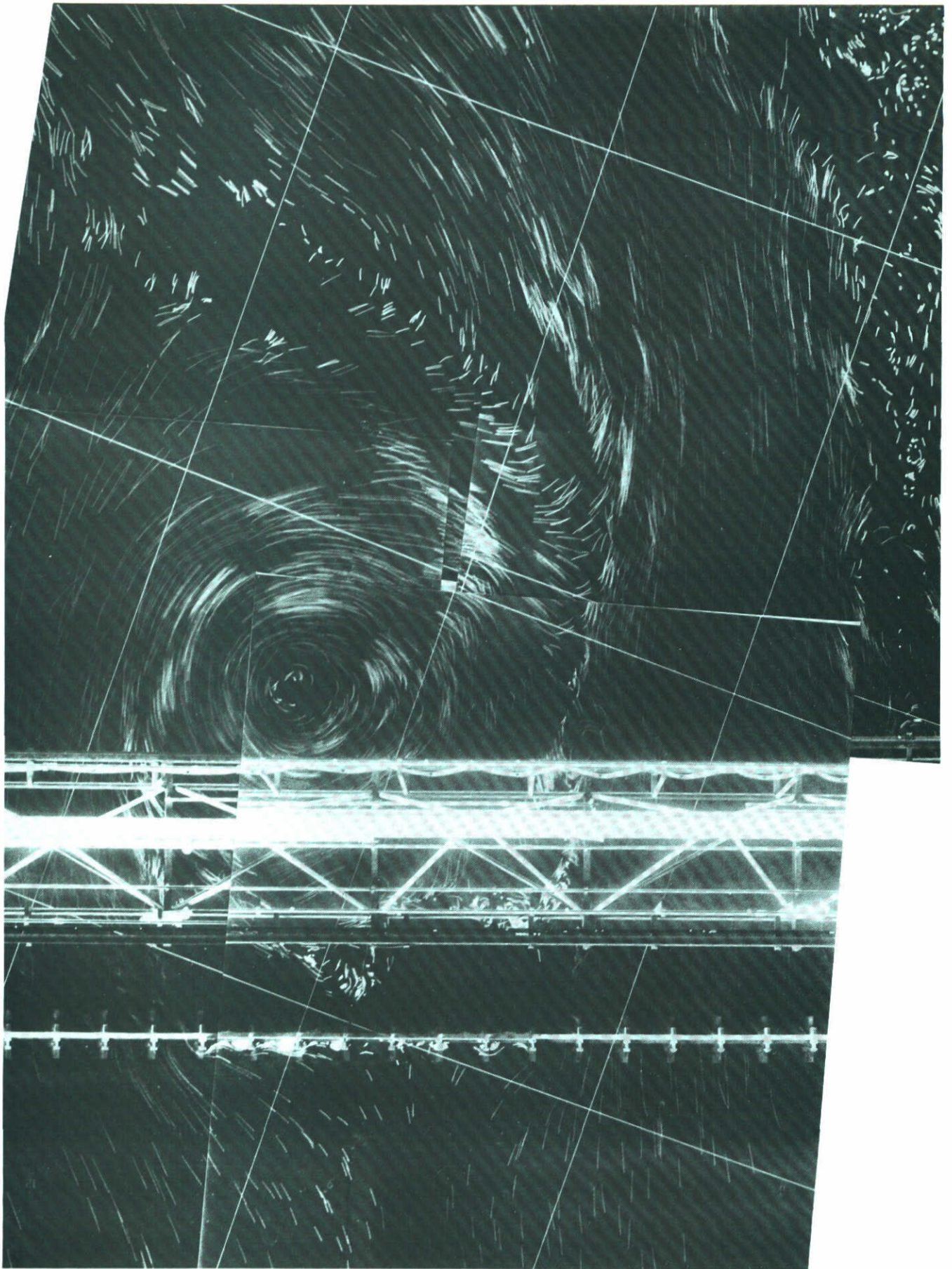


13 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R16 - R23, variant 4  
eb,  $Q = 32.880 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-1,18 \text{ m}$   
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



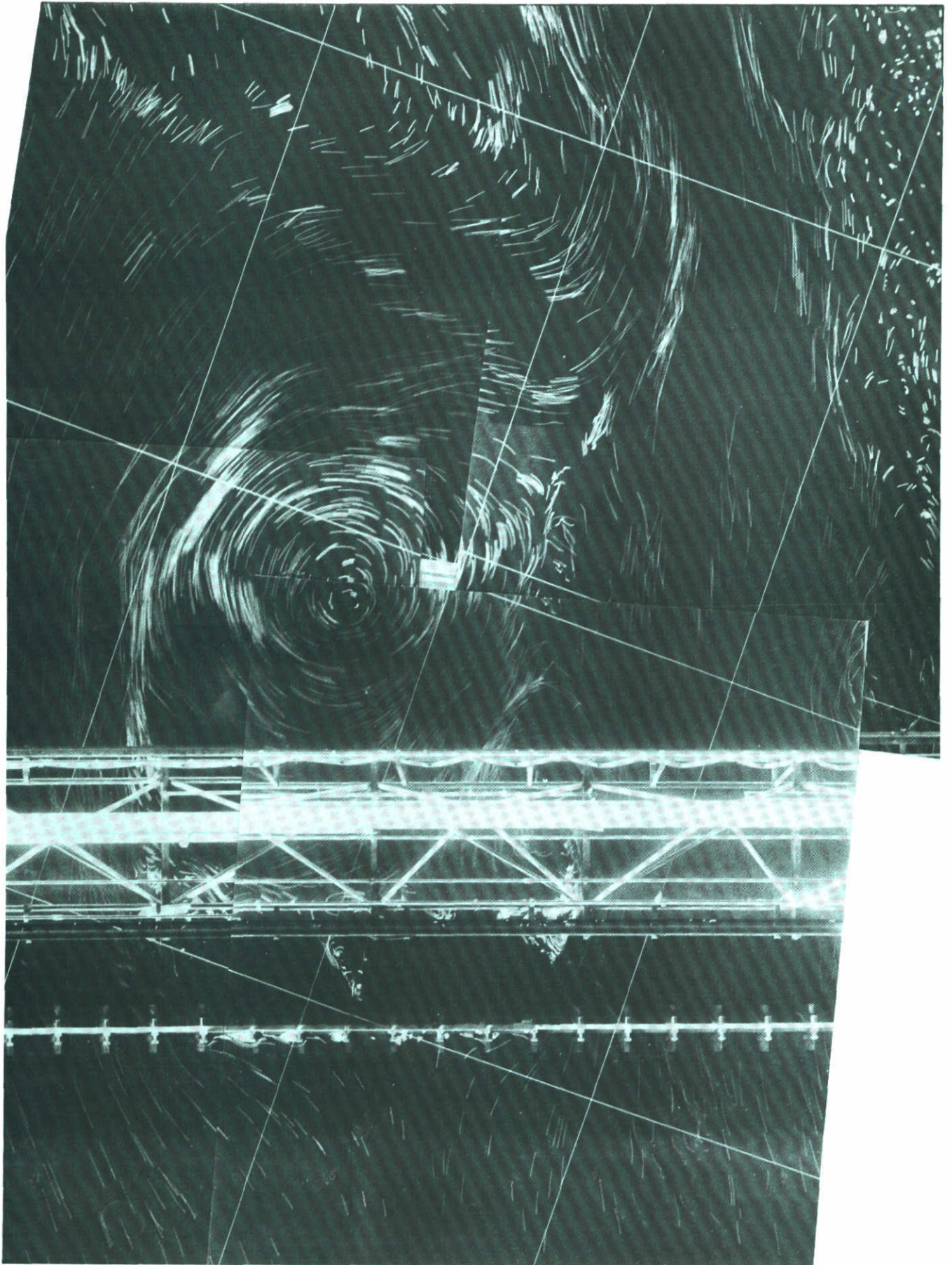
14 Hammen, 7 schuiven gesloten tussen H5 - H12, variant 5  
 eb,  $Q = 6.660 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P.  $-0,82 \text{ m}$   
 schaal 1 : 5.000                       $1 \text{ cm} \cong 1,86 \text{ m/s}$





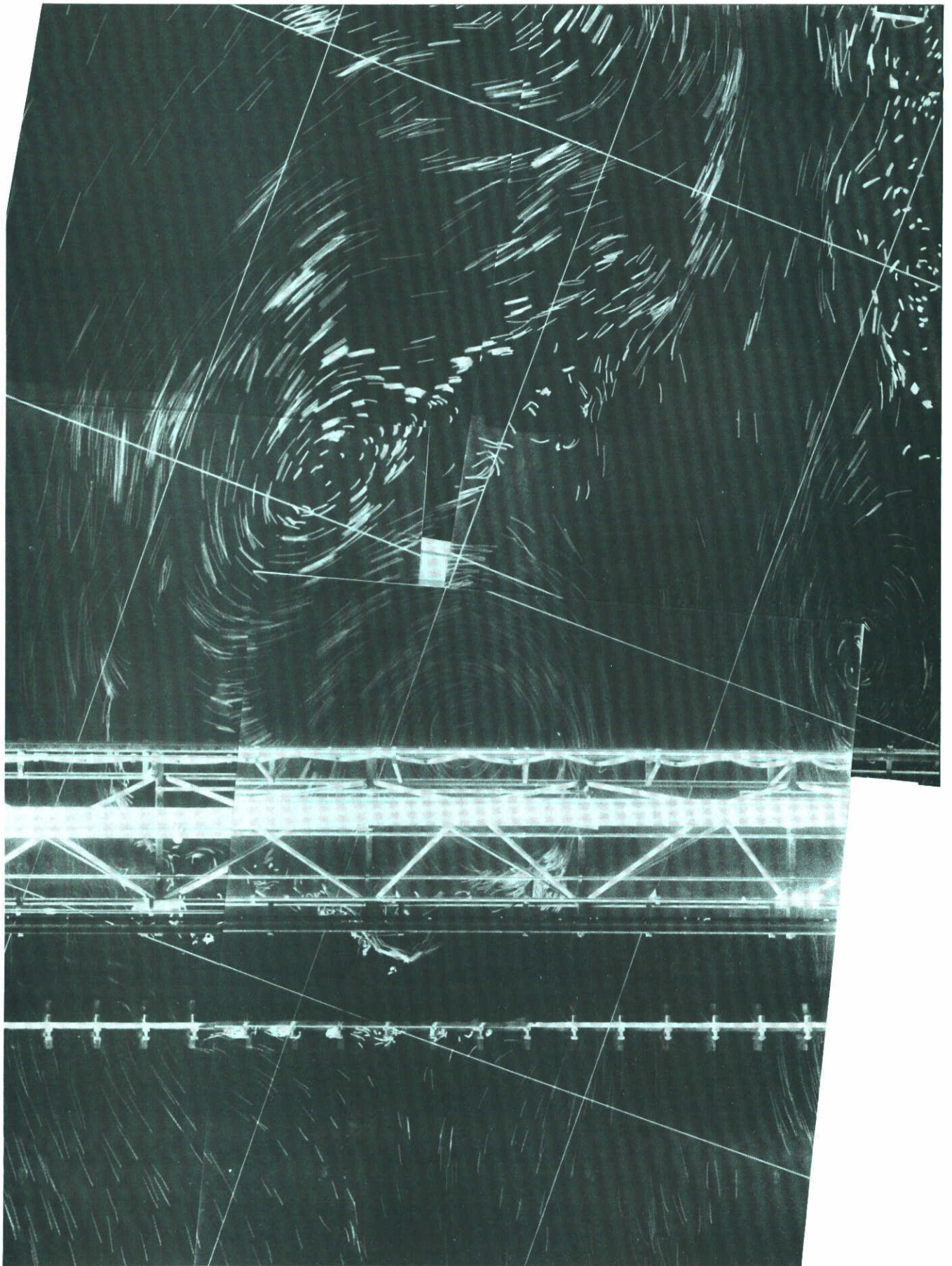
15.1 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000

1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



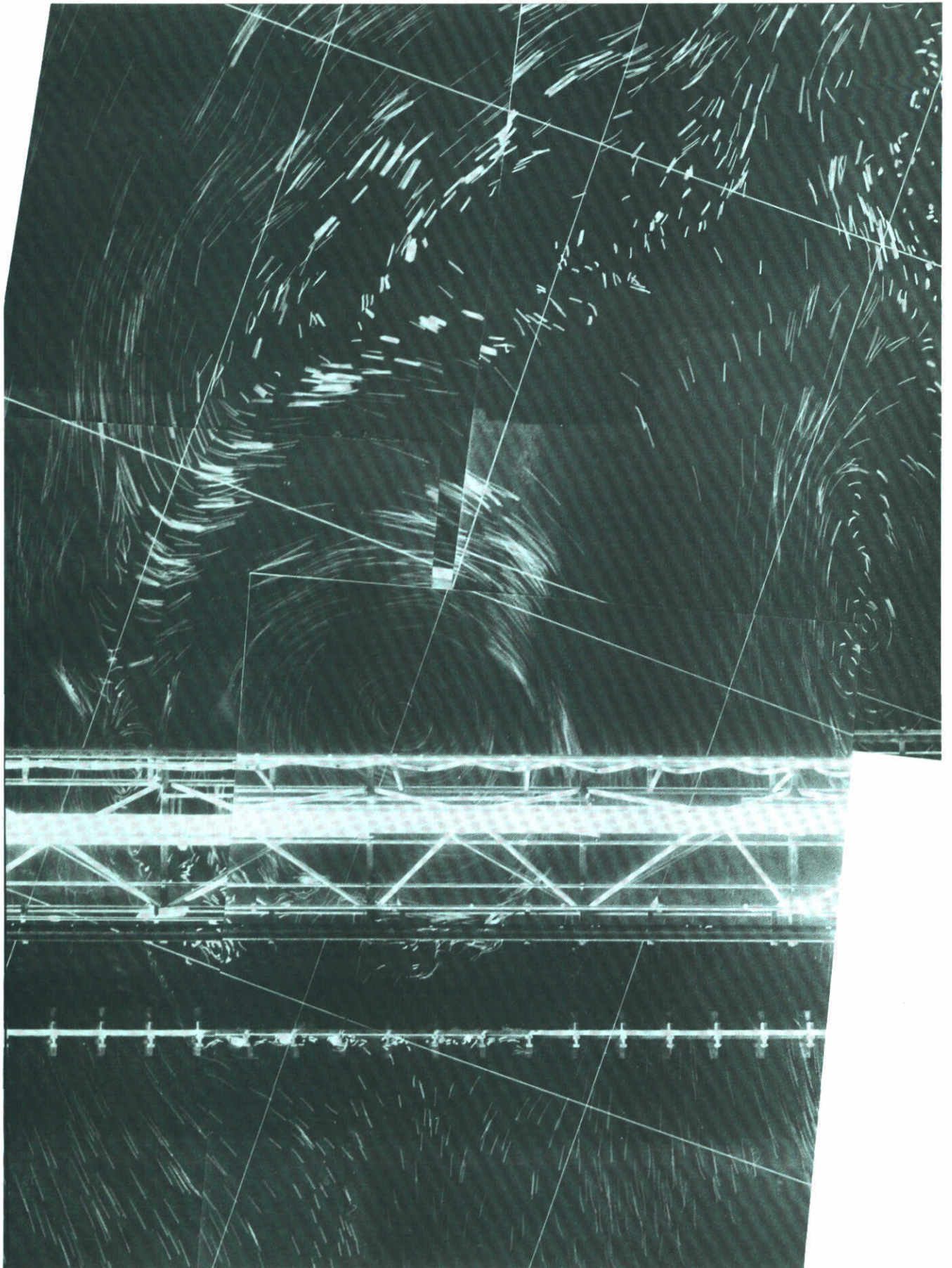
15.2 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000

1 cm  $\cong$  1,86 m/s

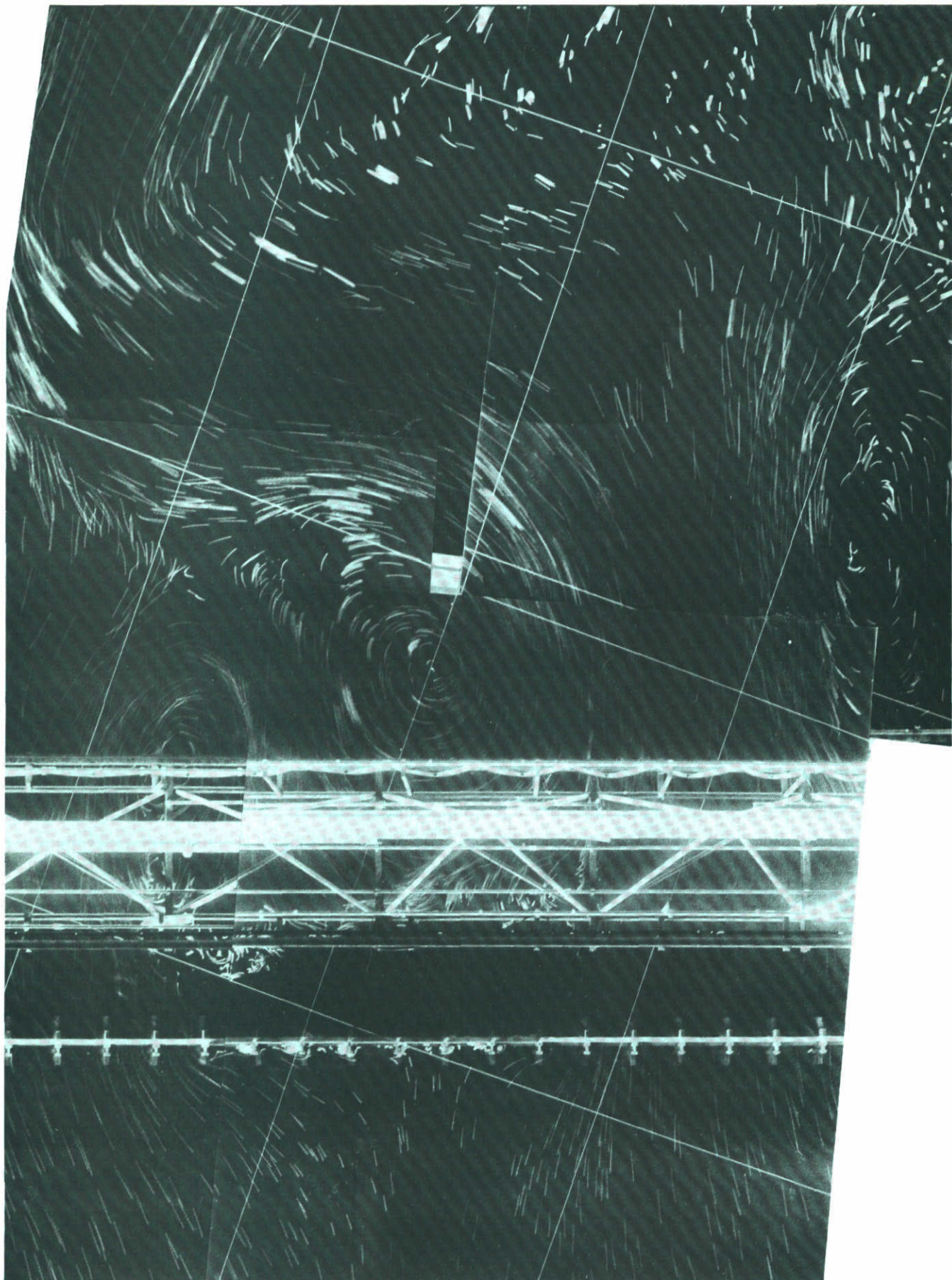


15.3 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000

1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s

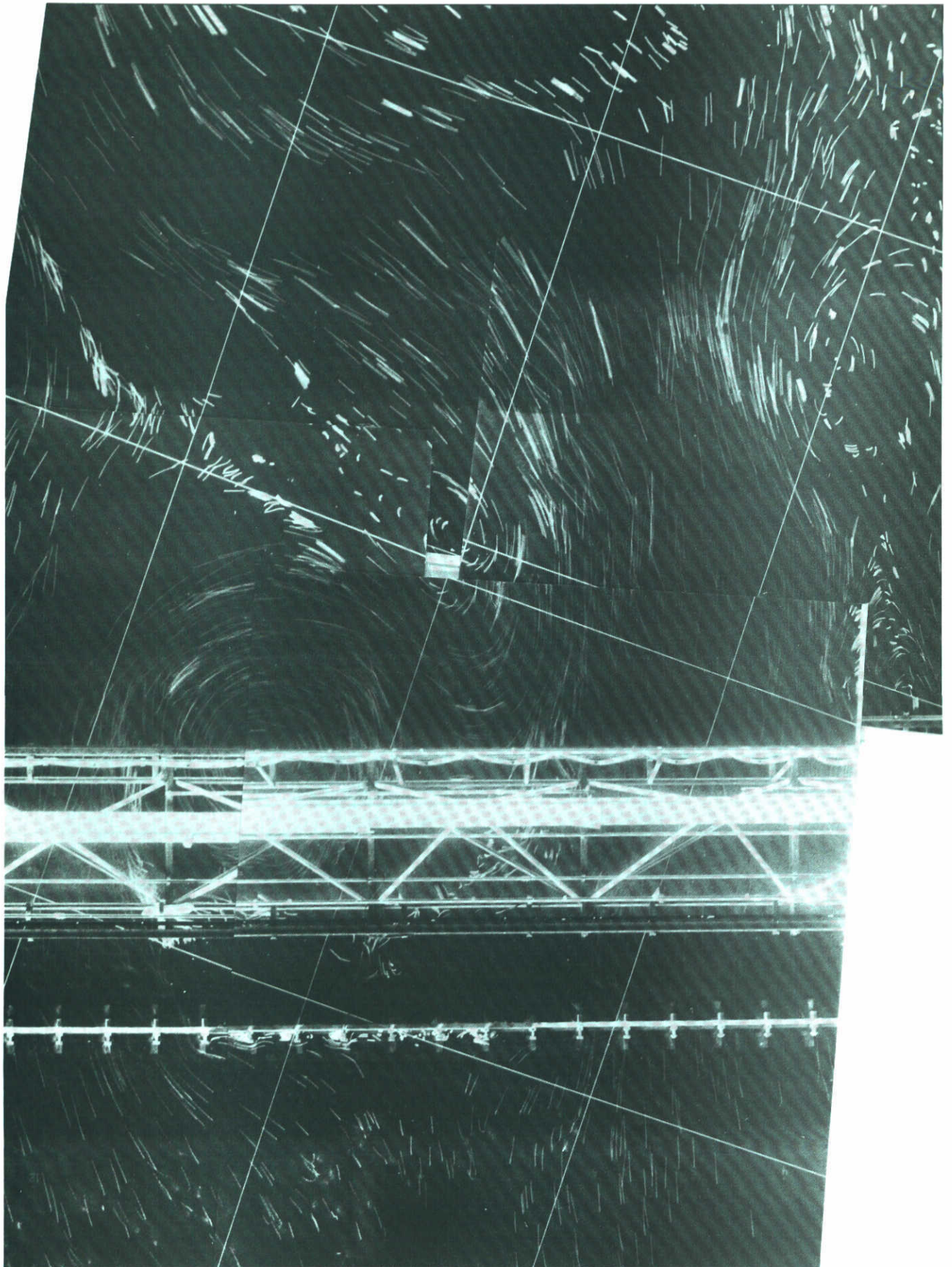


15.4 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s



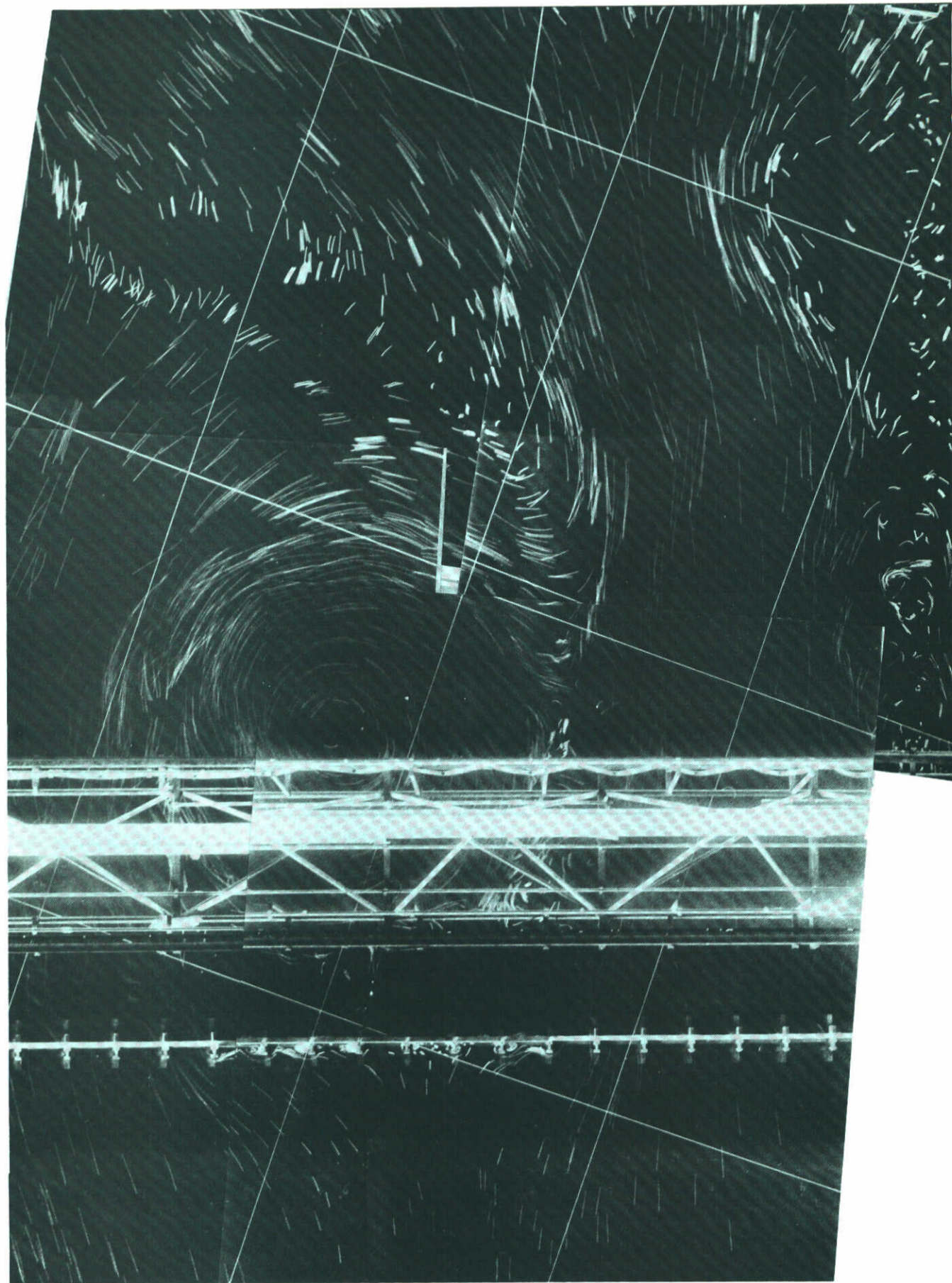
15.5 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000

1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



15.6 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000

1 cm  $\hat{=}$  1,86 m/s



15.7 Roompot, 7 schuiven gesloten tussen R10 - R17, variant 5  
vloed,  $Q = 42.760 \text{ m}^3/\text{s}$ , benedenwaterstand N.A.P. +0,50 m  
schaal 1 : 5.000 1 cm  $\cong$  1,86 m/s

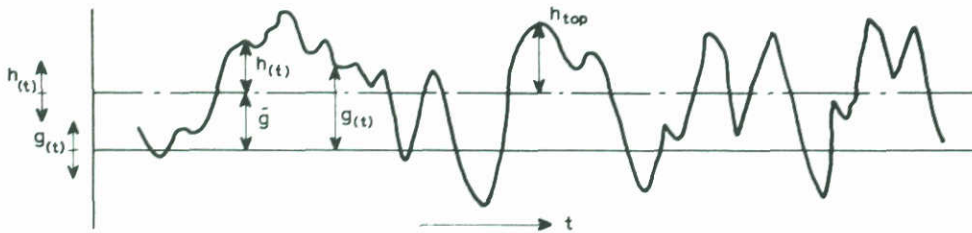
BIJLAGE

Berekening 1% overschrijding stroomsnelheden



## BIJLAGE: Berekening 1% overschrijding stroomsnelheden

Uitgegaan wordt van een stochastisch signaal  $g(t)$  met een periodiek karakter. Alvorens met de verwerking te beginnen wordt  $g(t)$  getransformeerd naar een signaal  $h(t)$  met een gemiddelde waarde van nul:



$$h(t) = g(t) - \bar{g} \quad (1)$$

waarbij:

$$\bar{g} = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt \quad (2)$$

$T$  = duur van het signaal (over een voldoende lange tijd).

Aangenomen is dat  $g(t)$  en dus ook  $h(t)$  ergodisch is ten opzichte van het gemiddelde. Een top in de functie  $h(t)$  wordt gedefinieerd als het grootste lokale maximum dat optreedt tussen een positieve en de daarop volgende negatieve nuldoorgang (dat wil zeggen doorsnijding van de lijn  $\bar{g}$ ). Een vergelijkbare definitie geldt voor de dalen.

### 1. Verwerking met behulp van spektrale analyse

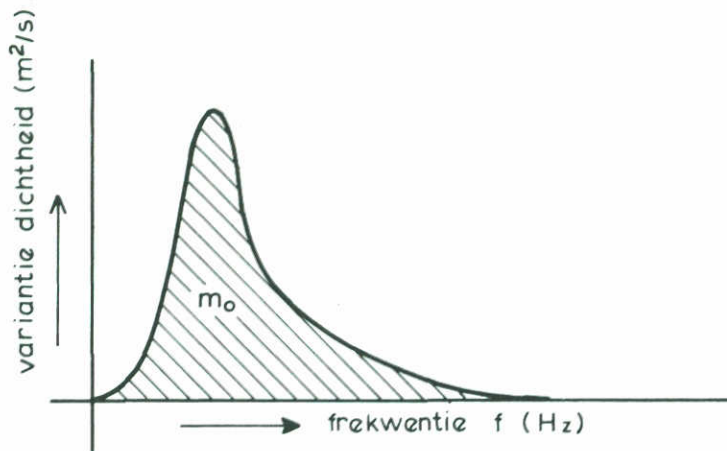
Uit theorieën van tijdreeksanalyse is bekend dat de grootte van de toppen  $h_{top}$  bij benadering kan worden beschreven door de Rayleigh-verdeling:

$$f_{top}(h) = \frac{h}{m_0} \exp\left(-\frac{h^2}{2m_0}\right) \quad h \geq 0 \quad (3)$$

waarin:

$$\begin{aligned} f_{top}(h) &= \text{kansdichtheidsfunctie van } h_{top} \\ m_0 &= \text{het nulde orde spektrale moment} \end{aligned}$$

Het nulde orde spektrale moment wordt gegeven door:



$$m_0 = \Delta f \sum_{j=1}^S \hat{G}_{hh}(j) \quad (4)$$

$\hat{G}_{hh}(j)$  = het autospectrum van  $h(t)$ .

De verwachtingswaarde van een top wordt gegeven door:

$$E \{h_{\text{top}}\} = \sqrt{\frac{\pi}{2} m_0} = 1,25 \sqrt{m_0} \quad \text{en} \quad (5)$$

$$E \{h_{\text{top}}^2\} = 2m_0 \quad (6)$$

waaruit volgt:

$$\text{VAR.}\{h_{\text{top}}\} = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) m_0 \quad (7)$$

De kans dat de random variabele  $h(t)$  een waarde aanneemt gelijk aan of kleiner dan een bepaalde waarde  $h_0$  wordt gegeven door de kumulatieve kansdichtheidsfunctie:

$$\begin{aligned} \text{Pr.}\{h \leq h_0\} &= \int_0^{h_0} \frac{h}{m_0} \exp\left(-\frac{h^2}{2m_0}\right) dh \\ &= 1 - \exp\left(-\frac{h_0^2}{2m_0}\right) \end{aligned}$$

Bijgevolg is de kans dat  $h > h_0$  gelijk aan:

$$\begin{aligned} \text{Pr.}\{h > h_0\} &= 1 - \text{Pr.}\{h \leq h_0\} \\ &= \exp\left(-\frac{h_0^2}{2m_0}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

De waarde van  $h$ , genaamd  $h_{1\%}$ , waarbij de kans gelijk is aan 1% dat  $h$  groter is

dan  $h_{1\%}$ , wordt gegeven door:

$$\begin{aligned} h_{1\%} &= \sqrt{m_0} [-2 \ln (10^{-2})]^{\frac{1}{2}} \\ &= 3,03 \quad m_0 \end{aligned} \quad (9)$$

De grotere 1% waarde van het oorspronkelijke signaal  $g(t)$  wordt tenslotte gegeven door:

$$g_{1\%} = |\bar{g}| + 3,03 \sqrt{m_0} \quad (10)$$

en heeft dezelfde teken(richting) als  $\bar{g}$ .

Deze formule kan worden toegepast op de x- en y-komponenten (u respectievelijk v) van de stroomsnelheid:

$$u_{1\%} = |\bar{u}| + 3,03 \sqrt{(m_0)_u} \quad (11)$$

$$v_{1\%} = |\bar{v}| + 3,03 \sqrt{(m_0)_v} \quad (12)$$

## 2. Verwerking door in beschouwing nemen van $u_{top}$ en $v_{top}$

Een mogelijk andere aanpak is uit de (gefilterde) tijdreeks  $h(t)$  de 1% overschrijdingswaarde te schatten door middel van een beschouwing van een "afgeleide" tijdreeks, namelijk de "toppen tijdreeks":  $h_{top}(t)$ .

Hierbij wordt opgemerkt dat zowel de toppen als de dalen te samen in beschouwing worden genomen.

Deze toppen hebben nog steeds een Rayleigh-verdeling.

Eerst wordt het gemiddelde van de toppen bepaald:

$$\hat{h}_{top} = \frac{1}{N} \sum_1^N h_{top}(t) \quad (13)$$

waarbij  $N$  = het aantal toppen (en dalen).

Het gemiddelde van de toppen is gelijk aan de verwachtingswaarde van een top. Uit vergelijkingen (5) en (8) volgt dat de 1% overschrijdingswaarde van  $h(t)$  wordt gegeven door:

$$\begin{aligned} h_{1\%} &= [-2 \ln (10^{-2})]^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \hat{h}_{\text{top}} \\ &= 2,42 \hat{h}_{\text{top}} \end{aligned} \tag{14}$$

en tenslotte:

$$g_{1\%} = |\bar{g}| + 2,42 \hat{h}_{\text{top}} \tag{15}$$

Voor de stroomsnelheidscomponenten geldt dan:

$$u_{1\%} = |\bar{u}| + 2,42 \hat{u}_{\text{top}} \tag{16}$$

$$v_{1\%} = |\bar{v}| + 2,42 \hat{v}_{\text{top}} \tag{17}$$

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands