

BESCHOUWING OVER DE INVLOED VAN  
HET ROLLEND EN ZWEVEND TRAN-  
SPORT OP DE ONTGRONDING BENE-  
DENSTROOMS VAN EEN BODEMBESCHER-

Nota W-69.107

Deel I

INHOUDSOPGAVE

	blz.
1. Inleiding	1
2. De bestaande tijd ontgrondingsformule.	1
3. Schematisatie van de ontgrondingskuil	2
4. De invloed van de bovenaanvoer	3
5. Bepaling van de grootte van de boven- aanvoer	3
6. Toepassing voor het wintersluitgat in de zuidelijke geul van het Brouwershavense Gat.	4
7. Samenvatting	5
8. Lijst van bijlagen	6

VRAAG GESTELD DOOR: Hoofd Waterl. Afd.  
VAN: de Deltadienst  
TE: 's-Gravenhage

MONDELING AAN: ir. F. Spaargaren  
TELEFONISCH  
BIJ SCHRUVEN N<sup>o</sup>:

VRAAG: Beschouwing over de invloed van het rollend en zwevend transport op de ontgronding benedenstrooms van een bodembescherming.

REDEN:

Zie bijlagenlijst.

GEZ. EN ACC.

AANGEBODEN BIJ SCHR. N<sup>o</sup>:

MET  
ZONDER OPMERKINGEN VAN HET HOOFD VAN DE  
WATERLOOPKUNDIGE AFDELING

ANTWOORD:

1. Inleiding.

Het modelonderzoek dat is verricht ter verkrijging van inzicht in het ontgrondingsverschijnsel benedenstrooms van een bodembescherming is uitgevoerd in stroomgoten waarbij het aangevoerde water geen bodemmateriaal bevatte.

In het prototype evenwel bevat het water dat aan de benedenstroomse rand van de bodembescherming arriveert doorgaans wel zand in de vorm van rollend en zwevend transport.

Als gevolg hiervan is de op basis van de proeven berekende ontgronding aan de ongunstige kant daar het reeds in het water aanwezige materiaal een reducerende invloed uitoefent. Hetzelfde geldt ten aanzien van de ontgronding welke wordt bepaald met behulp van de detailmodellen van de sluitgaten.

In het volgende zal nu worden getracht de invloed van de bovenaanvoer van materiaal in rekening te brengen.

2. De bestaande tijd-ontgrondingsformule\*.

De op grond van de modelproeven opgestelde formule voor de tweedimensionale ontgronding heeft de volgende gedaante

$$h = 0,18 \cdot h_0^{0,25} (\alpha \bar{v} - \bar{v}_{kr})^{1,64} \cdot \Delta^{-0,64} \cdot t^{0,38} \quad (1)$$

hierin is

$h$  = ontgrondingsdiepte t.p.v. het diepste punt v.d.  
ontgrondingskuil

$h_0$  = oorspronkelijke waterdiepte

\* Ontleend aan publicatie  
van het Waterloopkundig Laboratorium

$\bar{V}$  = gemiddelde stroomsnelheid aan de rand van de bodembescherming  
 $\bar{V}_{kr}$  = kritische schuifspanningssnelheid aan de rand van de bodembescherming.

$$\Delta = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} \quad \text{waarin } \rho_m = \text{dichtheid van het ontgrondingsmateriaal.}$$

$\rho_w$  = dichtheid van het water

$\alpha$  = korrektiefaktor: op de gemiddelde stroomsnelheid afhankelijk van de aanstroomcondities en de geometrie

$t$  = tijd

### 3. Schematisatie van de ontgrondingskuil

Uit de modelproeven zowel als uit waarnemingen in het prototype blijkt dat de ontgrondingskuil die achter de bodembescherming ontstaat kan worden geschematiseerd tot een driehoek (fig. 1)

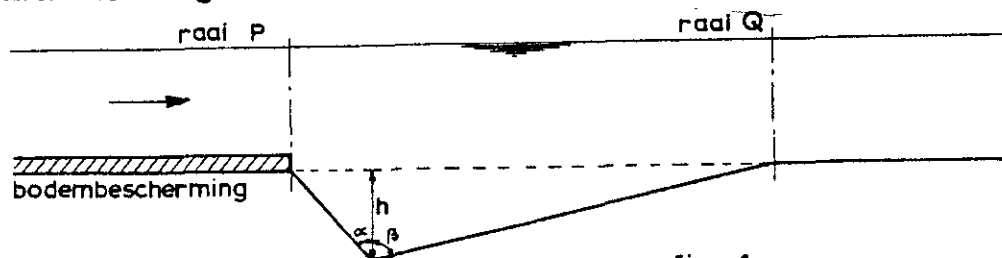


fig. 1

Het verband tussen de verdieping ( $h$ ) en de hoeveelheid bodemmateriaal ( $T$ ) die, per eenheid van breedte, door raai Q wordt afgevoerd, wordt gegeven door

$$T = \frac{1}{2} (\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta) h^2 \quad (2)$$

zodat met substitutie van (1)

$$T = \frac{1}{2} (\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta) \cdot \left\{ 0,18 \cdot h^{0,25} (\alpha \bar{V} - \bar{V}_{kr})^{1,64} \Delta^{-0,64} \right\}^2 \cdot t^{0,76} \quad (1)$$

Wordt van een gegeven stromingstoestand en geometrie gesteld dat

$$\frac{1}{2} (\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta) \left\{ 0,18 \cdot h^{0,25} (\alpha \bar{V} - \bar{V}_{kr})^{1,64} \Delta^{-0,64} \right\}^2 = C \quad (4)$$

dan is

$$T = C \cdot t^{0,76} \quad (5)$$

4. De invloed van de bovenaanvoer

Wordt de door de stroom aangevoerde hoeveelheid materiaal die per tijdseenheid en per eenheid van breedte raai P passeert gesteld op (a) dan kan de bovenaanvoer (A) in het geval van een permanentie worden geschreven als

$$A = a \cdot t \quad (6)$$

Verondersteld wordt nu dat de op basis van de ontgrondingsformule berekende inhoudstoename van de kuil moet worden verminderd met de bovenaanvoer van materiaal, of wel

$$I = c t^{0,76} - at \quad (7)$$

De evenwichtssituatie waarbij geen verdere verdieping meer optreedt wordt bereikt als

$$0,76c t^{-0,24} = a \quad (8)$$

5. Bepaling van de grootte van de bovenaanvoer

De bovenaanvoer van materiaal vindt plaats in de vorm van rollend- en zwevend transport. Met uit de literatuur bekende transportformules kan de verhouding tussen beide transporten worden berekend. Voor de omstandigheden in de sluitgaten, zanddiameter  $\pm 200 \mu$  en stroomsnelheden 1,0 à 2,0 m/s blijkt dan dat het rollend transport een fractie is van het zwevend transport (zie bijlage 9).

Het rollend transport wordt dan ook verder buiten beschouwing gelaten, terwijl het zwevend transport zal worden berekend met behulp van de methode Kalinske-Morra \*\*.

Blijkens het onder punt 6 behandelde voorbeeld werkt slechts een deel van de aangeboden zandvertikaal mee ter reducering van de ontgroning. Hierbij spelen vermoedelijk de diepte- en de lengte van de ontgrondingskuil alsmede de geometrie, welke bepalend is voor de vorm van de zandvertikaal, een rol. De grootte van het effectieve deel van de verticaal is niet bekend en zal op grond van modelproeven en waarnemingen in het prototype moeten worden vastgesteld.

Daarnaast kan ook een andere weg worden gevolgd waarbij gebruik wordt gemaakt van een geschatte evenwichtstijd, d.w.z. de tijd welke nodig is om een evenwicht te bereiken. Uit waarnemingen in het prototype is de orde van grootte van deze tijd voor wintersluitgaten bekend. Voor lage drempels ( $\sim 1/10$  van de waterdiepte) bedraagt zij enkele

\*\* R.H.J. Morra, De zandbeweging in het getijgebied, Rapp. no. 11, 1952  
Rijkswaterstaat, Studiedienst, Directie Benedenrivieren.

maanden en voor hogere drempels ( $\sim \frac{1}{2}$  van de waterdiepte) een half tot één jaar. Uit het hierna te geven voorbeeld zal blijken dat een betrekkelijk ruime variatie in evenwichtstijd een relatief geringe invloed heeft op de te verwachten ontgronding.

6. Toepassing voor het wintersluitgat in de zuidelijke geul van het Brouwershavensche Gat.

In deze geul is een bodembeschouwing aangebracht met, in de as van de afsluiting, een daarin opgenomen filterconstructie van zeer geringe hoogte (0,5 m à 1,0 m). De ontgrondingen welke buiten de rand van de bodembescherming zijn opgetreden hebben inmiddels hun evenwichtsaligging bereikt. Als voorbeeld zullen de aan de zeezijde opgetreden verdiepingen, dus veroorzaakt door de ebstroom, worden vergeleken met de berekende en de in het model M.675 gemeten ontgrondingen. Op bijlage 1 wordt voor een aantal punten in de geul het op basis van de gegeven snelheden berekende verband tussen de ontgronding en de tijd gegeven bij afwezigheid van een bovenaanvoer. Bijlage 2 geeft eenzelfde verband maar dan voor de in het model gemeten waarden. Wanneer het verband tussen de ontgrondingsdiepte een tijd bekend is kan hieruit het verband tussen het transport (T) per m' breedte en de tijd worden afgeleid waarbij voor de geschematiseerde ontgrondingskuil voor  $t_{\alpha}$  en  $t_{\beta}$  de waarden 4 en 30 is aangehouden. Dit transport, dat voor één punt is gegeven op bijlage 3, kan worden gereduceerd met een bovenaanvoer. Als voorbeeld is hiervoor genomen een aanvoer van 2, 4 en 6 m<sup>3</sup>/m'/dag. De bijbehorende evenwichtstijden zijn resp. 300, 15 en 3 dagen. Uit de gereduceerde transporten kan de gereduceerde verdieping worden berekend. De in het betreffende punt opgetreden verdieping met het daarbij behorende transport is eveneens op bijlage 3 aangegeven. Het evenwicht zou na 45 dagen zijn ingetreden waarbij een bovenaanvoer van 3 m<sup>3</sup>/m'/dag behoort. De gereduceerde ontgrondingstijdlijn wordt gegeven op bijlage 4.

Op overeenkomstige wijze is voor een groot aantal punten in het dwarsprofiel de berekende ontgronding gereduceerd met een bovenaanvoer van 2, 4 en 6 m<sup>3</sup>/m'/dag en vergeleken met de opgetreden verdieping. Bijlage 5 geeft hiervan het resultaat. Het blijkt, dat wanneer de gereduceerde ontgronding wil overeenstemmen met de opgetreden verdiepingen een over het dwarsprofiel variërende bovenaanvoer noodzakelijk is.

Naast de aangenomen bovenaanvoer kan ook, zoals hiervoor is uiteengezet, een geschatte evenwichtstijd worden aangehouden. Op bijlage 6 is voor een na 100, 200 en 400 dagen ingetreden evenwicht de verdieping gegeven en vergeleken met welke is opgetreden. De bijbehorende bovenaanvoeren variëren over het dwarsprofiel. De bij de in het prototype opgetreden ontgronding behorende bovenaanvoer blijkt te variëren van  $0,75 \text{ m}^3/\text{m}'/\text{dag}$  tot  $3,5 \text{ m}^3/\text{m}'/\text{dag}$ . De bijgeschreven waarden hebben betrekking op de evenwichtstijd en variëren van 1 tot 5 maanden. Met behulp van de methode Kalinske-Morra is aan de hand van de gegeven snelheidsverdeling het aangeboden zwevend transport berekend. Het resultaat is op bijlage 9 weergegeven. Worden deze waarden vergeleken met het op bijlage 6 voor het evenwicht benodigde transport dan blijkt dat slechts  $1/10$  à  $1/20$  van het aangeboden transport effectief is.


Op overeenkomstige wijze als hiervoor voor de berekende ontgrondingen is gedaan kunnen ook de in het model H.675 gemeten verdiepingen worden vergeleken met het prototype. De bijlagen 7 en 8 geven hiervan een beeld. Van de in het model gemeten verdieping onder de Schouwse oever van bijna 30 m is in het prototype slechts 1 à 2 m opgetreden. Teneinde deze reductie te berekenen is een bovenaanvoer nodig van maximaal  $11 \text{ m}^3/\text{m}'/\text{dag}$  hetgeen ongeveer  $1/7$  van het berekende zwevende transport is.

## 7. Samenvatting

1. De in de detailmodellen gemeten zowel als de op basis van het systematisch onderzoek berekende ontgrondingen zijn aan de te ongunstige kant als gevolg van het ontbreken van een bovenaanvoer in de vorm van rollend en zwevend transport.
2. De reductie van de aldus bepaalde ontgrondingen kan voorshands het beste geschieden onder aanname van een geschatte evenwichtstijd.
3. Deze evenwichtstijd bedraagt voor lage drempels ( $\sim 1/10$  van de waterdiepte) enkele maanden en voor hogere drempels ( $\sim 1/4$  van de waterdiepte) een half tot één jaar.

's-Gravenhage, 5 augustus 1969

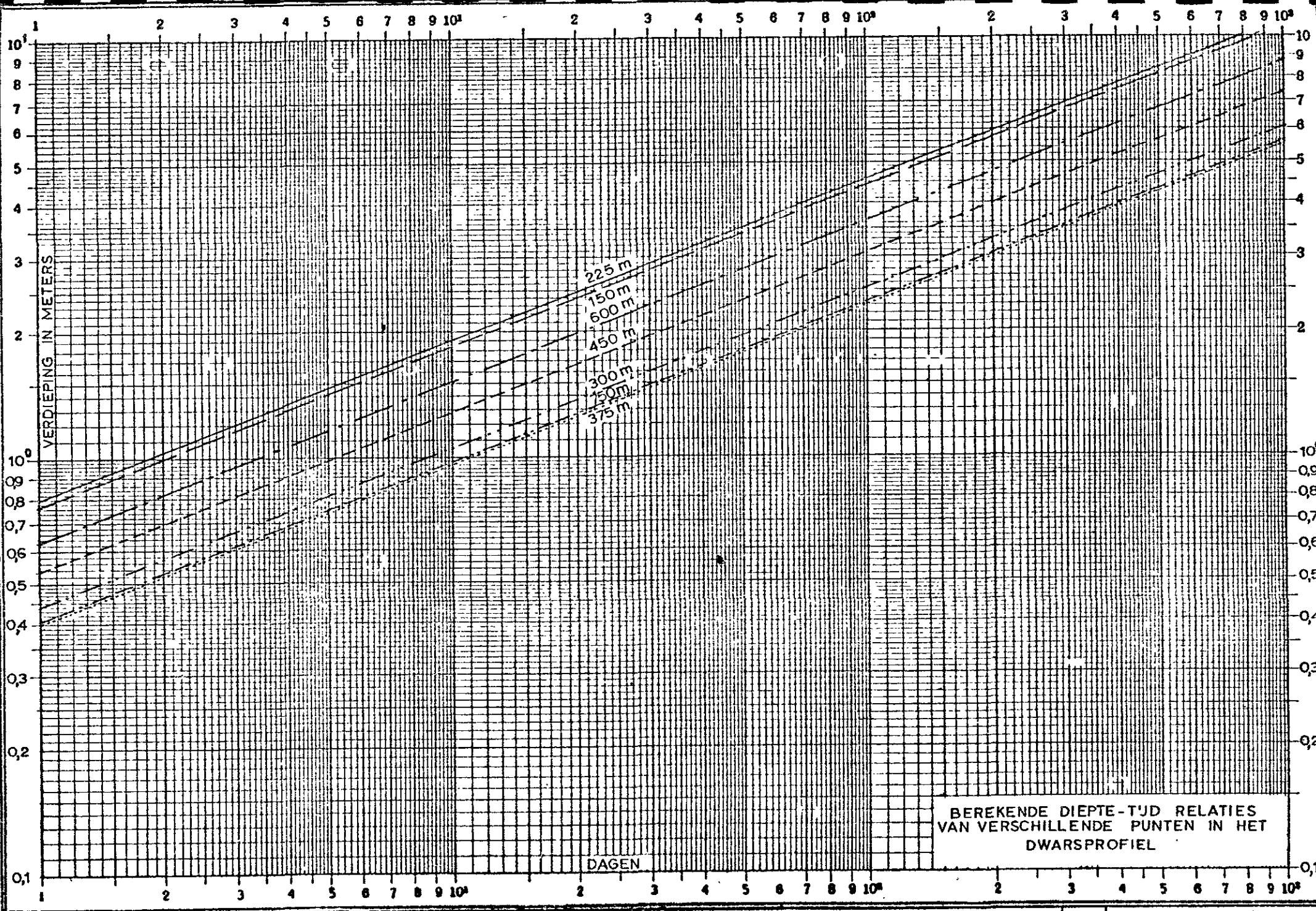
  
(A.R. Biesbroek)

 (ir F. Spaargaren)

Lijst van bijlagen

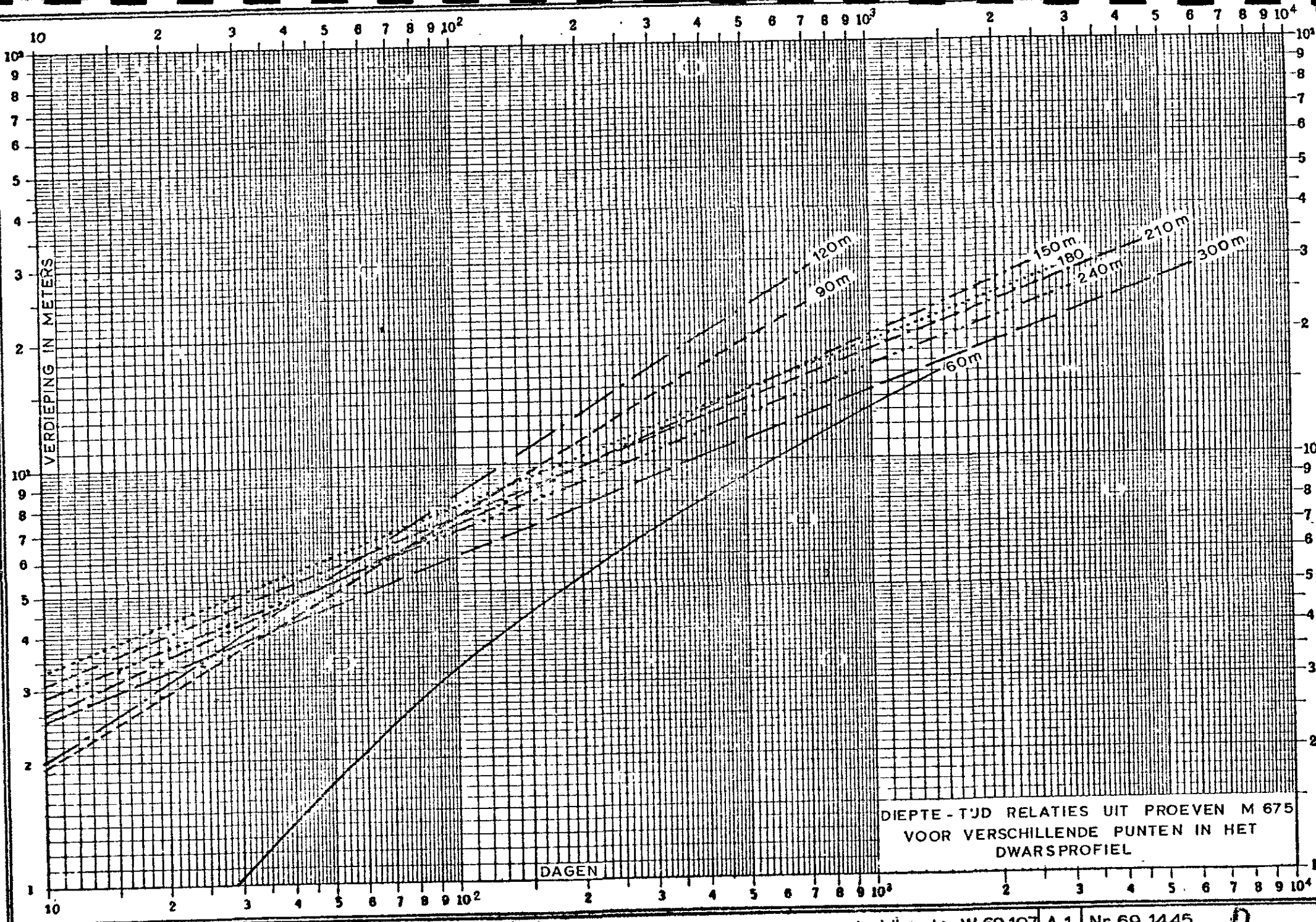
1.	Berekende diepte-tijd relaties van verschillende punten in het dwarsprofiel.	A1	69.1444
2 <sup>a</sup>	Diepte-tijd relaties uit proeven M-675 voor verschillende punten in het dwarsprofiel.	A1	69.1445
2 <sup>b</sup>	Diepte-tijd relaties uit proeven M-675 voor verschillende punten in het dwarsprofiel.	A1	69.1446
3.	Berekende transport-tijd relatie plaats: 150m uit nulpunt.	A2	69.1447
4.	Oorspronkelijke diepte-tijd relatie en gereduceerde diepte-tijd relatie voor de opgetreden verdieping plaats: 150m uit meetpunt.	A1	69.1448
5.	Gereduceerde ontgrondingen op basis van berekeningen met aangenomen bovenaanvoeren.	A2	69.1449
6.	Gereduceerde ontgrondingen op basis van berekeningen met aangenomen evenwichtstijden met de daarbij behorende bovenaanvoeren.	A2	69.1450
7.	Gereduceerde ontgrondingen op basis van proeven in M-675 met aangenomen bovenaanvoeren.	A2	69.1451
8.	Gereduceerde ontgrondingen op basis van proeven in M-675 met aangenomen evenwichtstijden met de daarbij behorende bovenaanvoeren.	A2	69.1452
9.	Snelheidsverdeling over het dwarsprofiel met bijbehorend rollend en zwevend zandtransport.	A2	69.1453



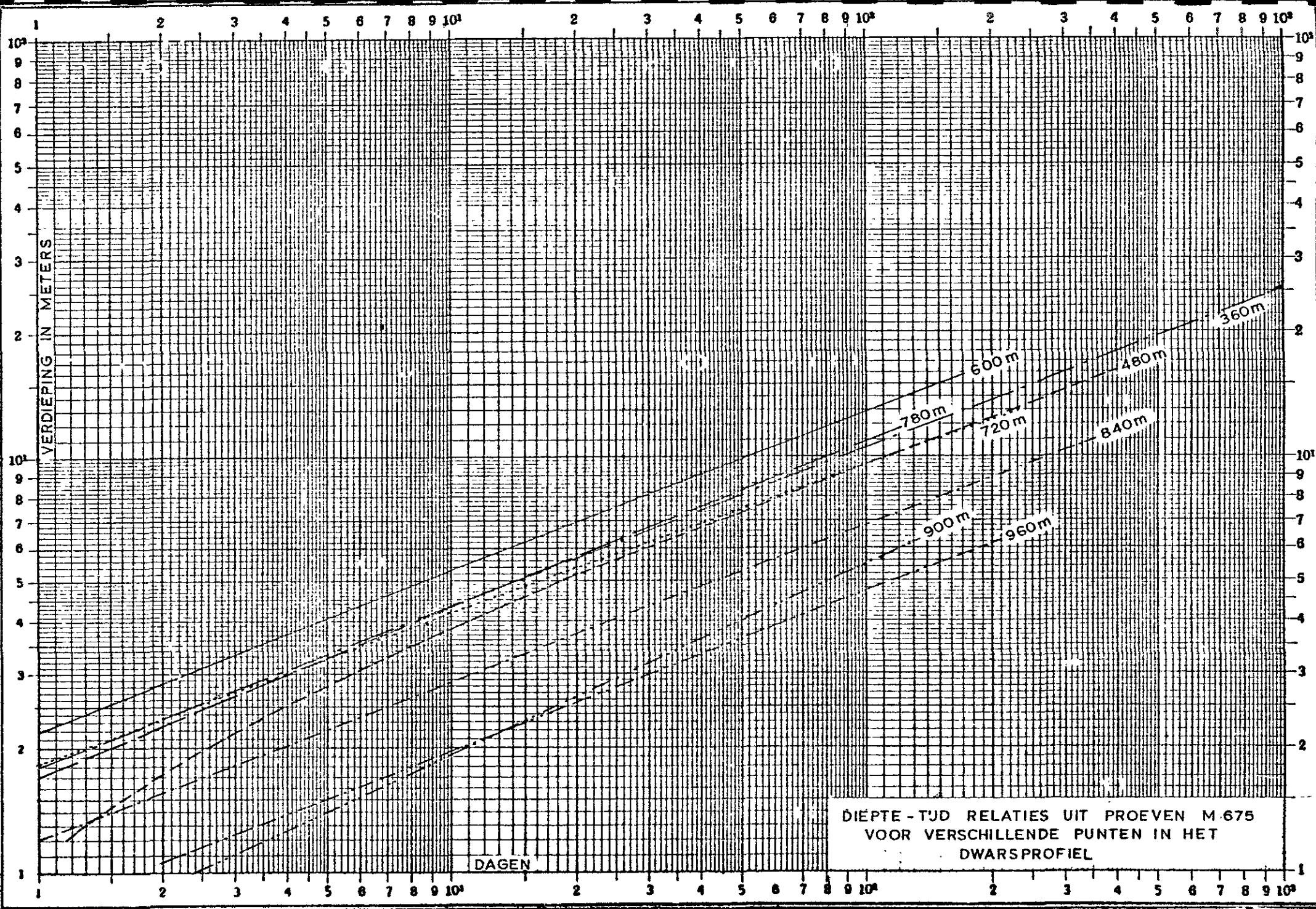


BEREKENDE DIEPTE-TIJD RELATIES  
VAN VERSCHILLENDE PUNTEN IN HET  
DWARSPROFIEL

DAGEN

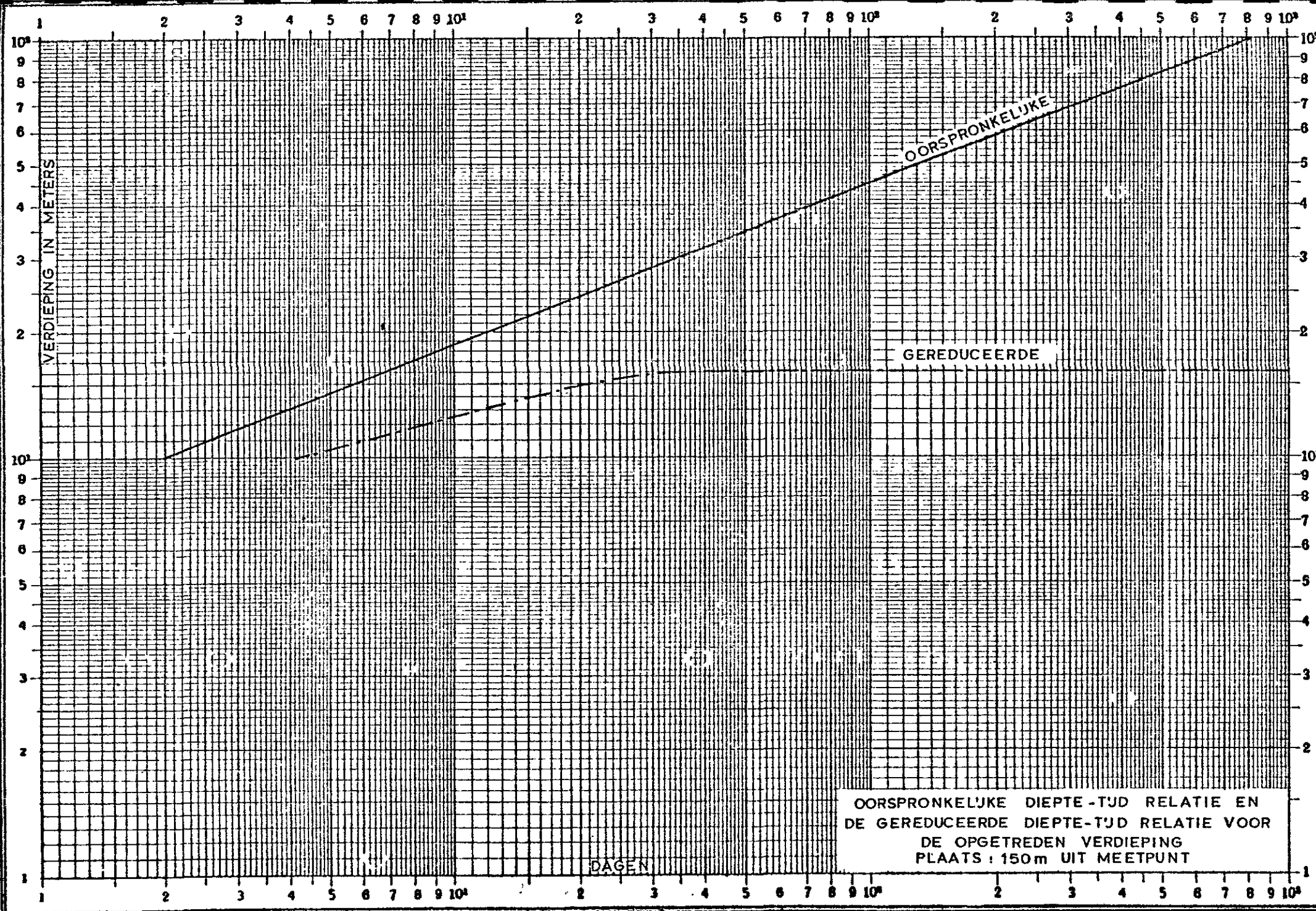


DIEPTE - TJD RELATIES UIT PROEVEN M 675  
 VOOR VERSCHILLENDE PUNTEN IN HET  
 DWARSPROFIEL

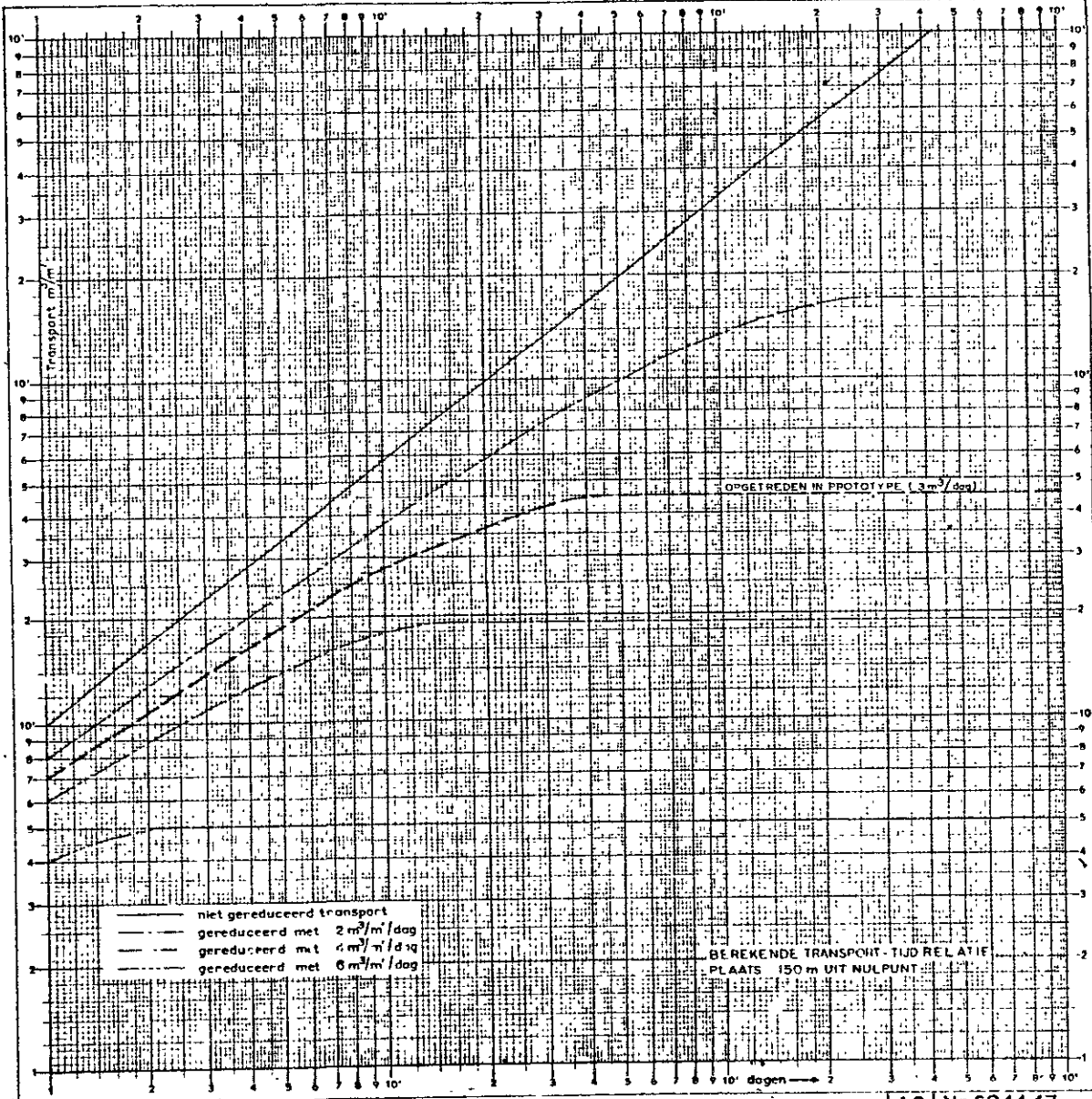


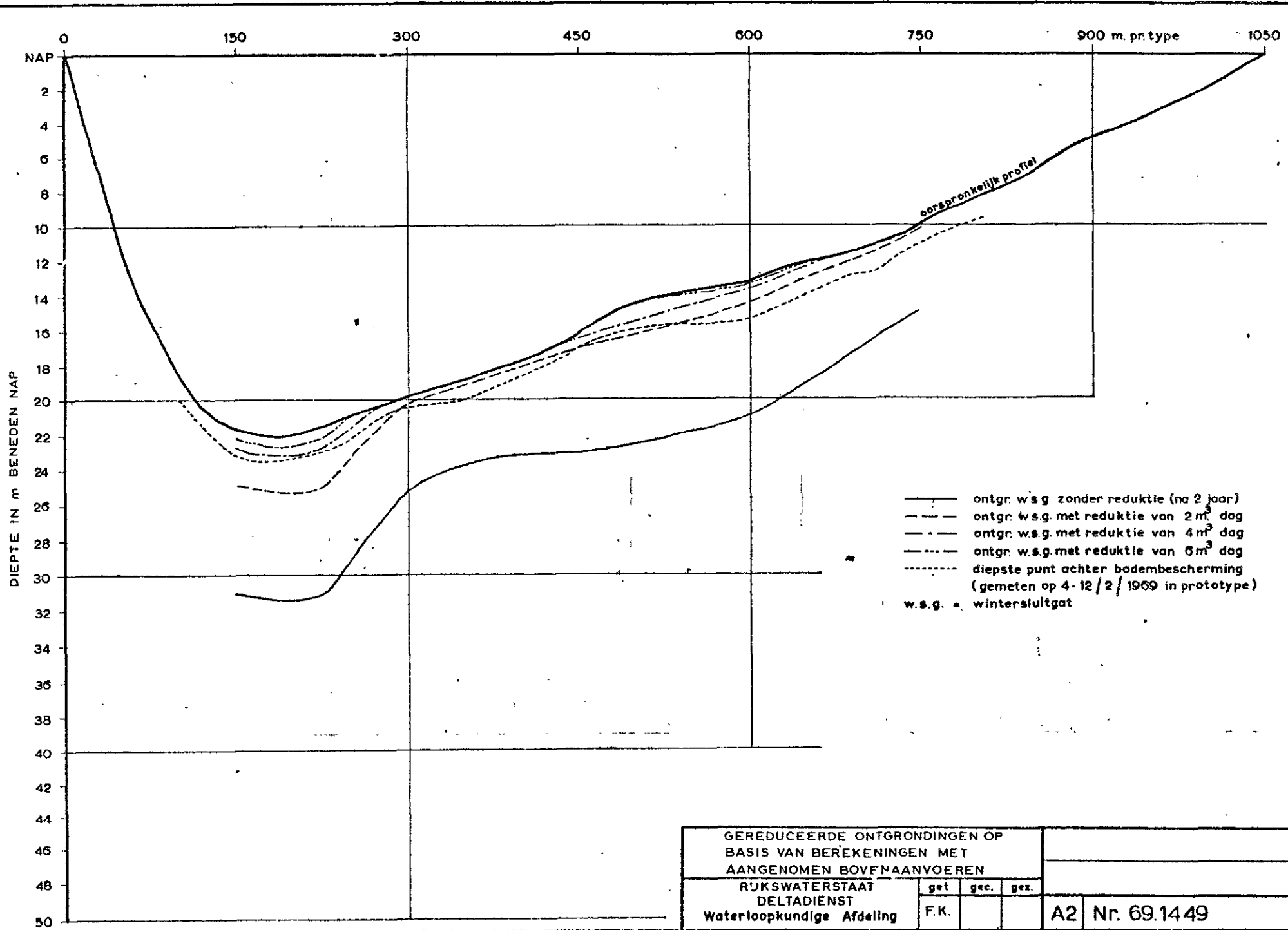
DIËPTE - TJD RELATIES UIT PROEVEN M.675  
 VOOR VERSCHILLENDE PUNTEN IN HET  
 DWARSPROFIEL

D



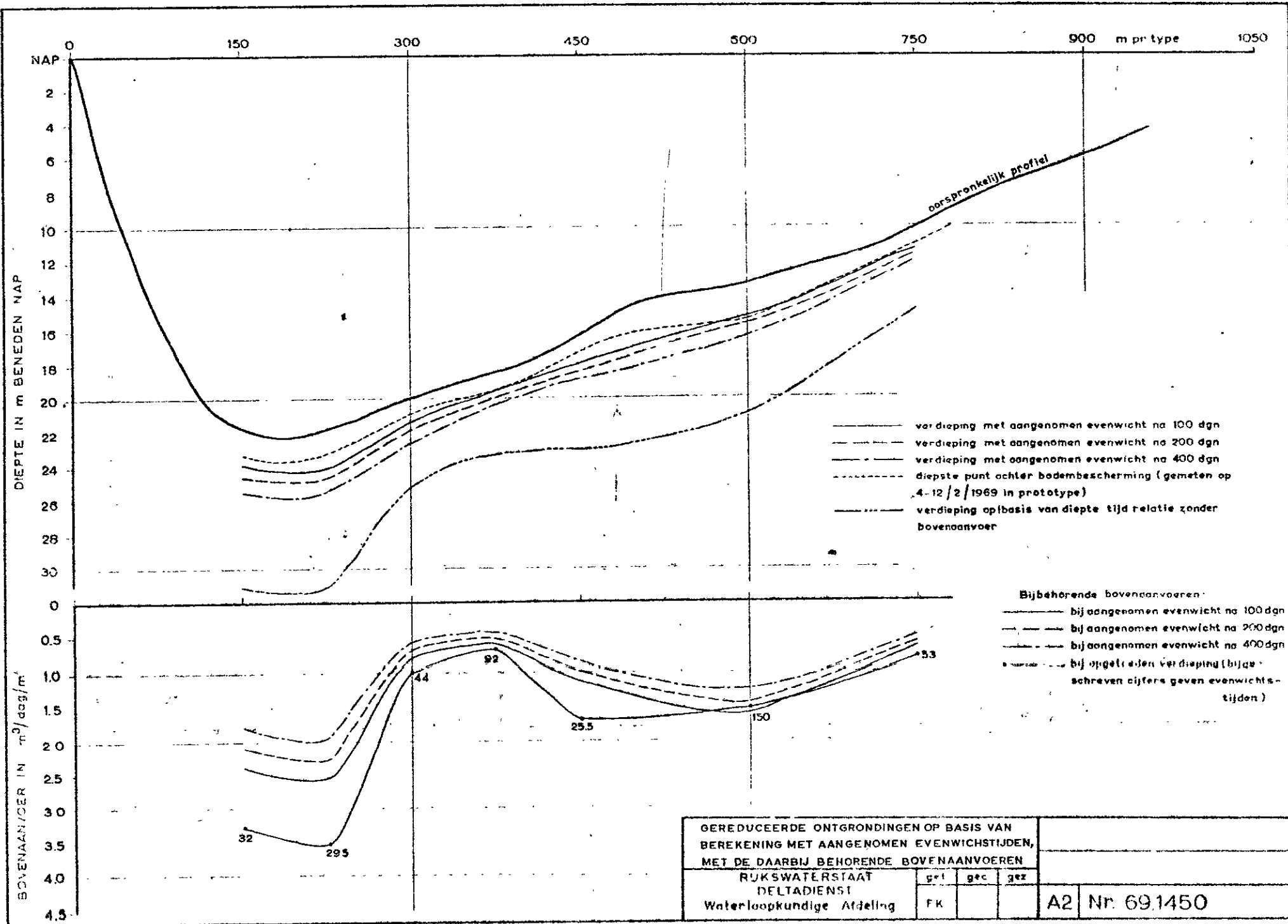
OORSPRONKELIJKE DIEPTE-TIJD RELATIE EN DE GEREDUCEERDE DIEPTE-TIJD RELATIE VOOR DE OPGETREDEN VERDIEPING PLAATS: 150m UIT MEETPUNT

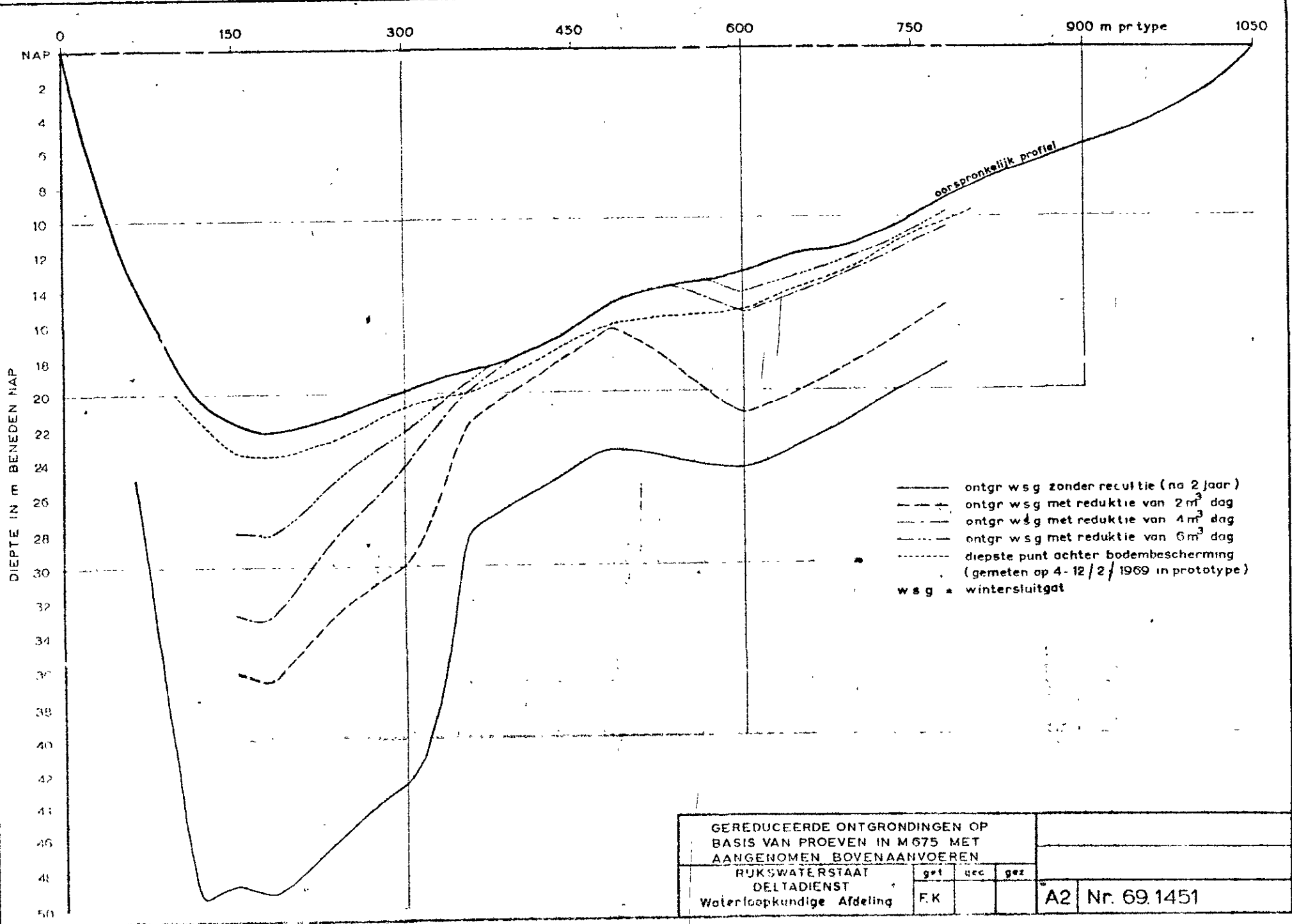




- ontgr. w.s.g. zonder reductie (na 2 jaar)
- - - ontgr. w.s.g. met reductie van 2 m<sup>3</sup> dag
- · - ontgr. w.s.g. met reductie van 4 m<sup>3</sup> dag
- · · - ontgr. w.s.g. met reductie van 6 m<sup>3</sup> dag
- · · · · diepste punt achter bodembescherming (gemeten op 4-12/2/1969 in prototype)
- w.s.g. = winterstultgat

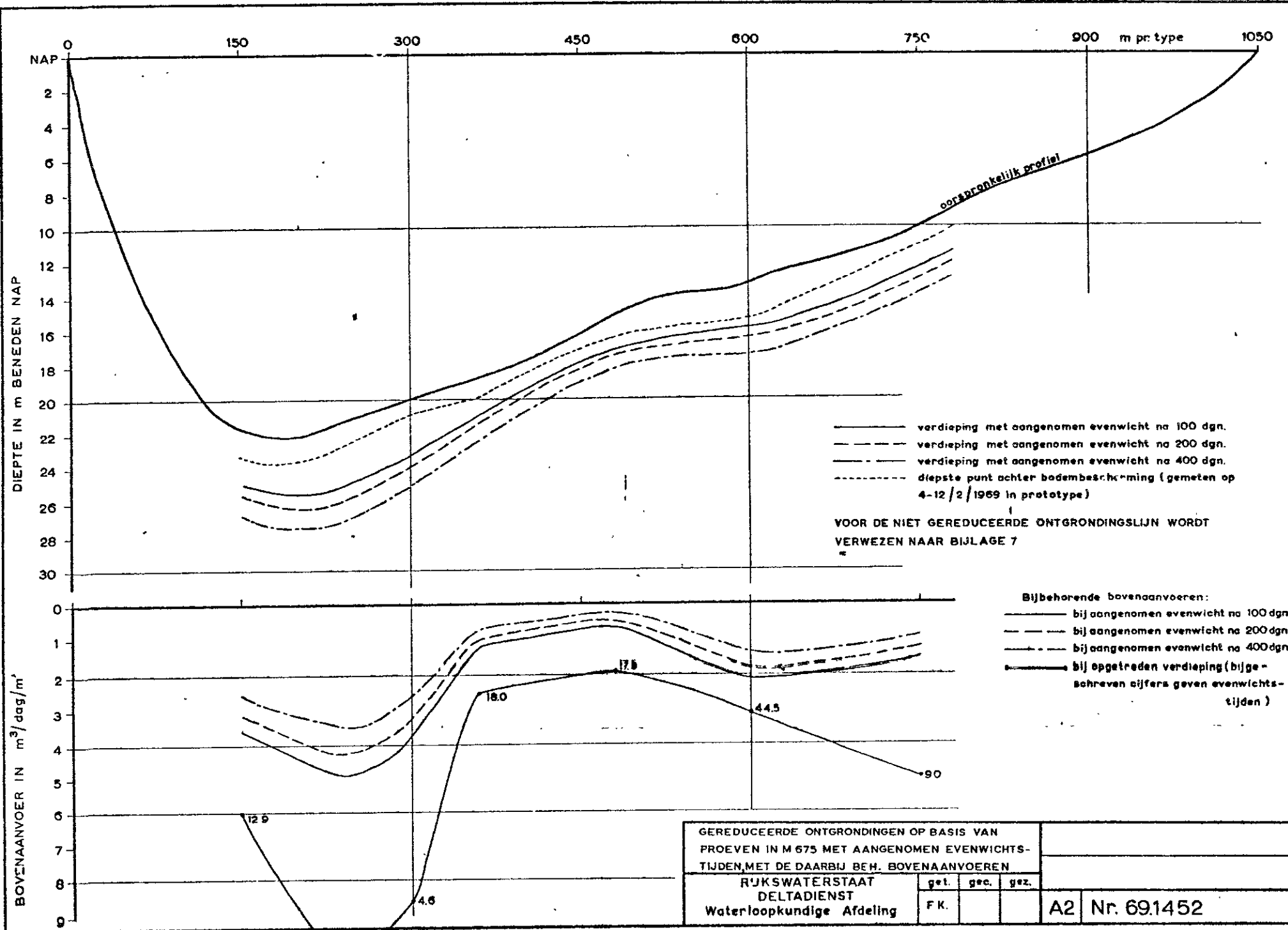
GEREDUCEERDE ONTGRONDINGEN OP BASIS VAN BEREKENINGEN MET AANGENOMEN BOVENAANVOEREN					
RIJKSWATERSTAAT DELTADIENST Waterloopkundige Afdeling		get	gac.	gez.	
		F.K.			A2 Nr. 69.1449



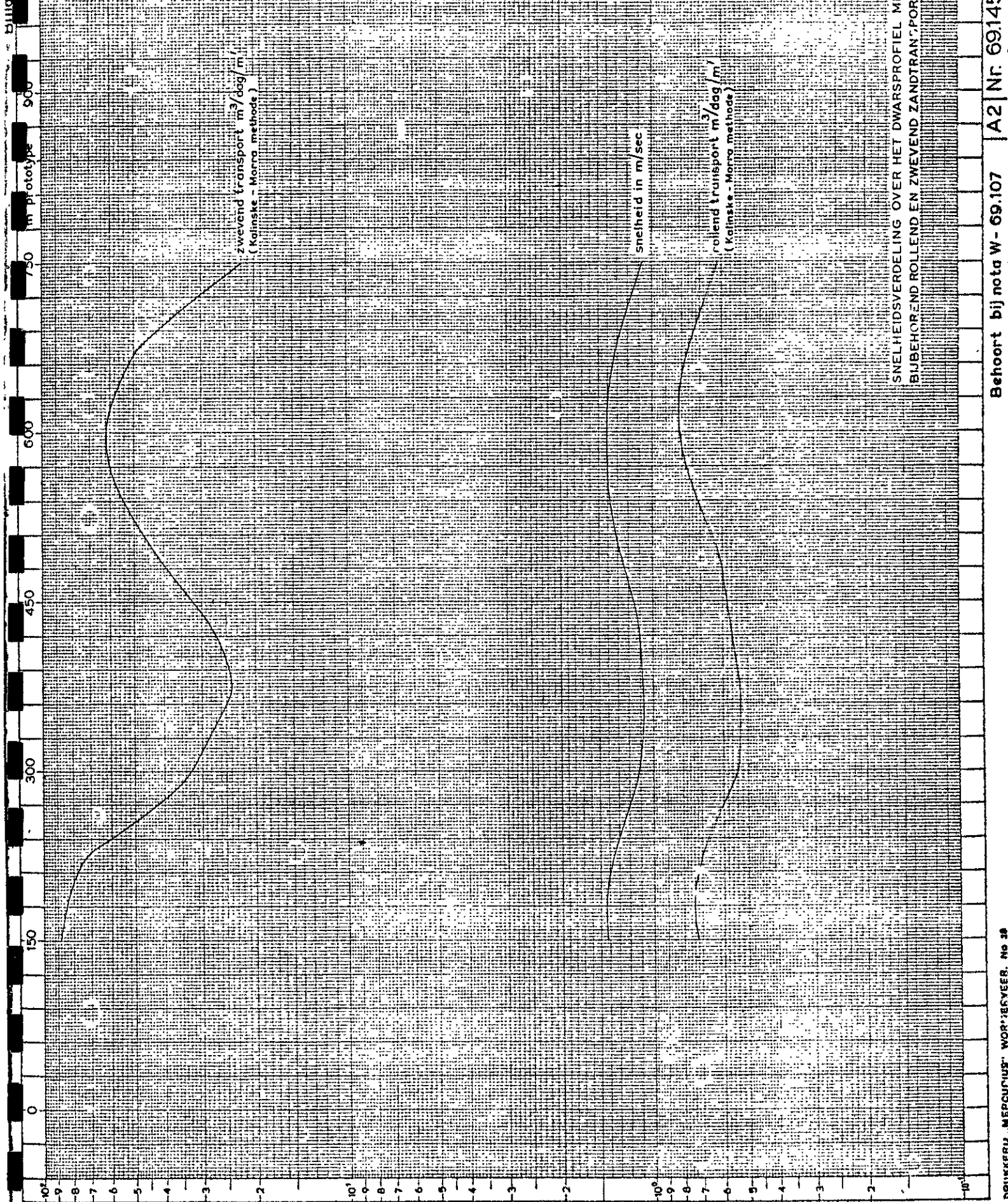
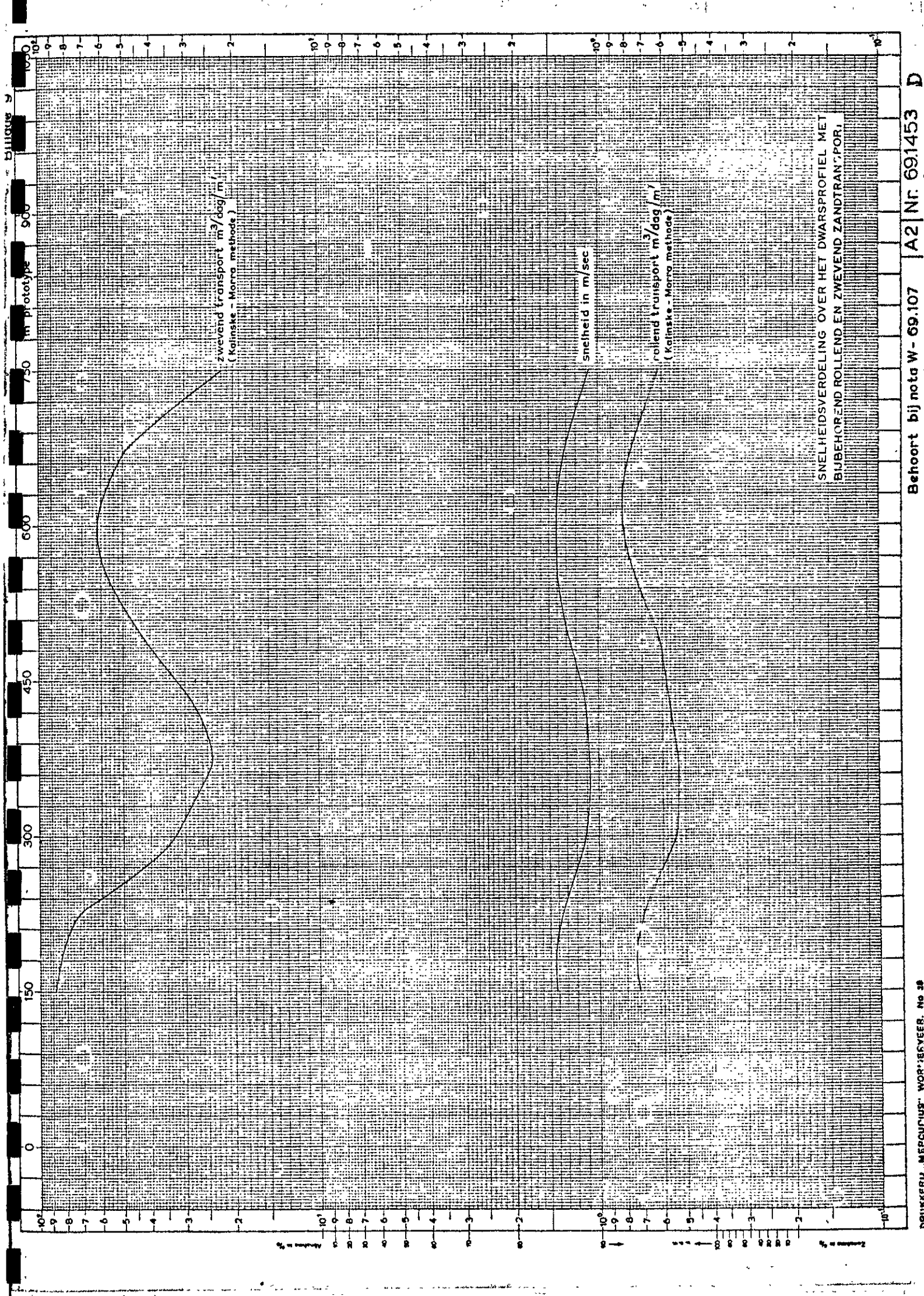


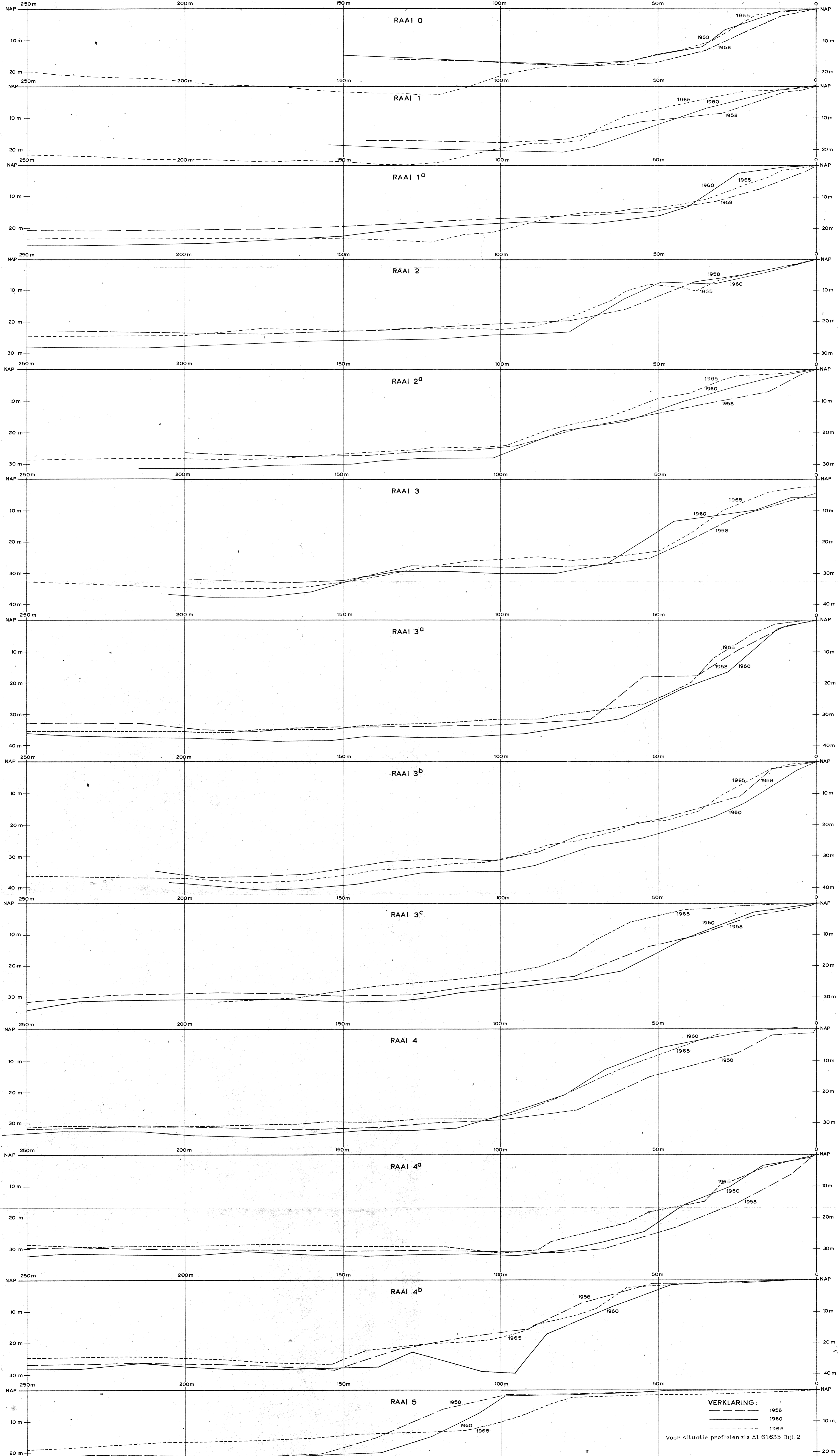
GEREDUCEERDE ONTGRONDINGEN OP BASIS VAN PROEVEN IN M 675 MET AANGENOMEN BOVENAANVOEREN			
RIKSWATERSTAAT	get	dec	gez
DELTADIENST	F.K		
Waterloopkundige Afdeling			A2 Nr. 69.1451





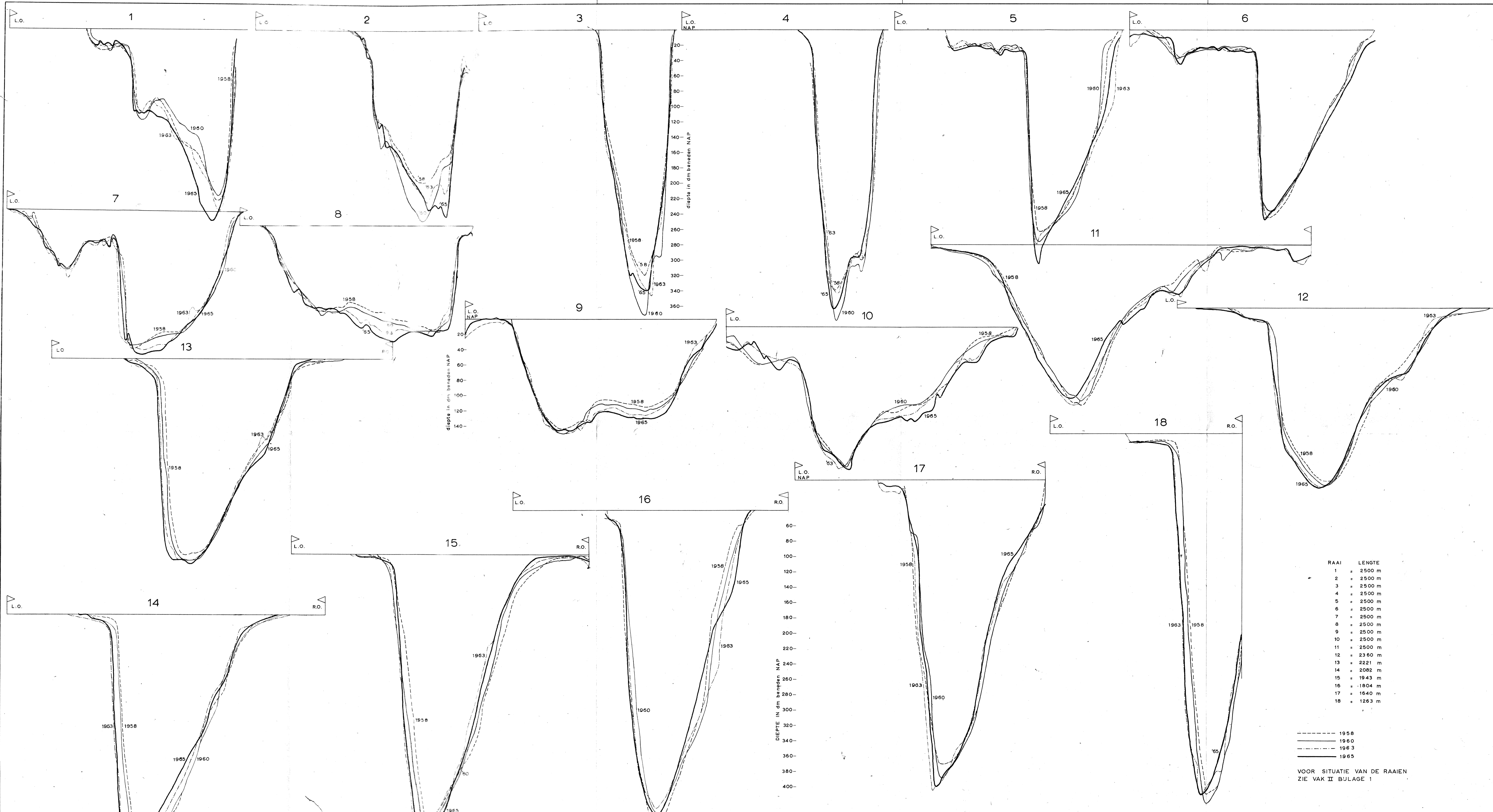
GEREDUCEERDE ONTGRONDINGEN OP BASIS VAN PROEVEN IN M 675 MET AANGENOMEN EVENWICHTSTIJDEN, MET DE DAARBIJ BEH. BOVENAANVOEREN			
RIJKSWATERSTAAT DELTADIENST Waterloopkundige Afdeling		get.	gez.
F.K.			
A2		Nr. 691452	





VERKLARING:  
 — 1958  
 - - - 1960  
 ···· 1965  
 Voor situatie profielen zie A1.61.635 Bijl. 2

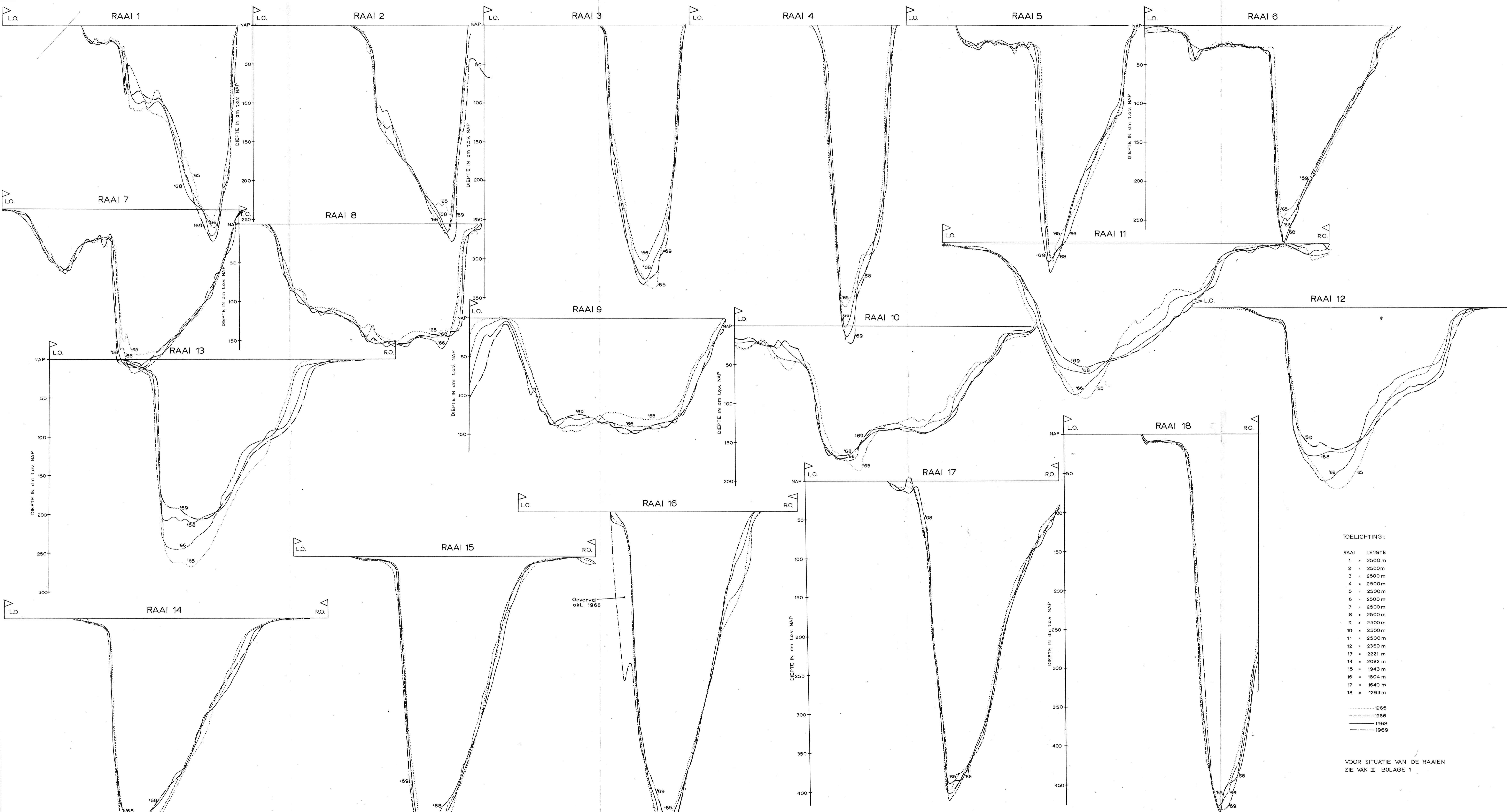
ZUPE		SCHAAL 1:500	
„NATUURLUKE“ PROFIELEN 1958 - 1965		getek. gecontroleerd	
RIJKSWATERSTAAT		F.K. / HS.	
DELTADIENST		B 5 Nr. 61.624	
Waterloopkundige Afdeling			



RAAI	LENGTE
1	= 2500 m
2	= 2500 m
3	= 2500 m
4	= 2500 m
5	= 2500 m
6	= 2500 m
7	= 2500 m
8	= 2500 m
9	= 2500 m
10	= 2500 m
11	= 2500 m
12	= 2360 m
13	= 2221 m
14	= 2082 m
15	= 1943 m
16	= 1804 m
17	= 1640 m
18	= 1263 m

- - - - - 1958  
 ———— 1960  
 - - - - - 1963  
 ———— 1965

VOOR SITUATIE VAN DE RAAIEN  
ZIE VAK II BULAGE 1



TOELICHTING :

RAAI	LENGTE
1	2500 m
2	2500 m
3	2500 m
4	2500 m
5	2500 m
6	2500 m
7	2500 m
8	2500 m
9	2500 m
10	2500 m
11	2500 m
12	2360 m
13	2221 m
14	2082 m
15	1943 m
16	1804 m
17	1640 m
18	1263 m

..... 1965  
 - - - - - 1966  
 ———— 1968  
 - · - · - 1969

VOOR SITUATIE VAN DE RAAIEN  
ZIE VAK II BULAGE 1

<b>PROFIELEN VAK II</b> <b>ZUPE - MASTGAT KEETEN</b> 1965-1966-1969			HOR. 1: 10.000 VERT. 1: 200		
RUKWATERSTAAT DELTADIENST Waterloopkundige Afdeling	get.	gec.	gez.	SCHAAL Nr. 67.2188	

O V E R F L A K K E E

St. PHILIPSLAND

T H O L E N

TOELICHTING

VERDIEPING

- 0 - 10 dm
- 10 - 20 dm
- > 20 dm

VERONDIEPING

- 0 - 10 dm
- 10 - 20 dm
- > 20 dm

VOORJAAR 1963 - FEB. 1965

VERDIEPINGEN EN VERONDIEPINGEN KEETEN - MASTGAT - ZUPE 1963 - 1965			SCHAAL 1:10.000		
RUKSWATERSTAAT	get.	gec.	gez.		
DELTA DIENST	24-11-36	7	7		
Waterloopkundige Afdeling	W.v.R.			B 5 Nr. 66.1974	

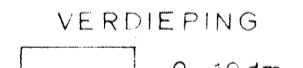
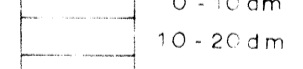

O . V E R F L A K K E E S

T H O L E N

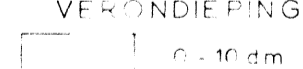
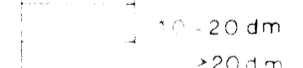
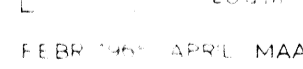
St. PHILIPS LAND

**TOELICHTING**

VERDIEPING

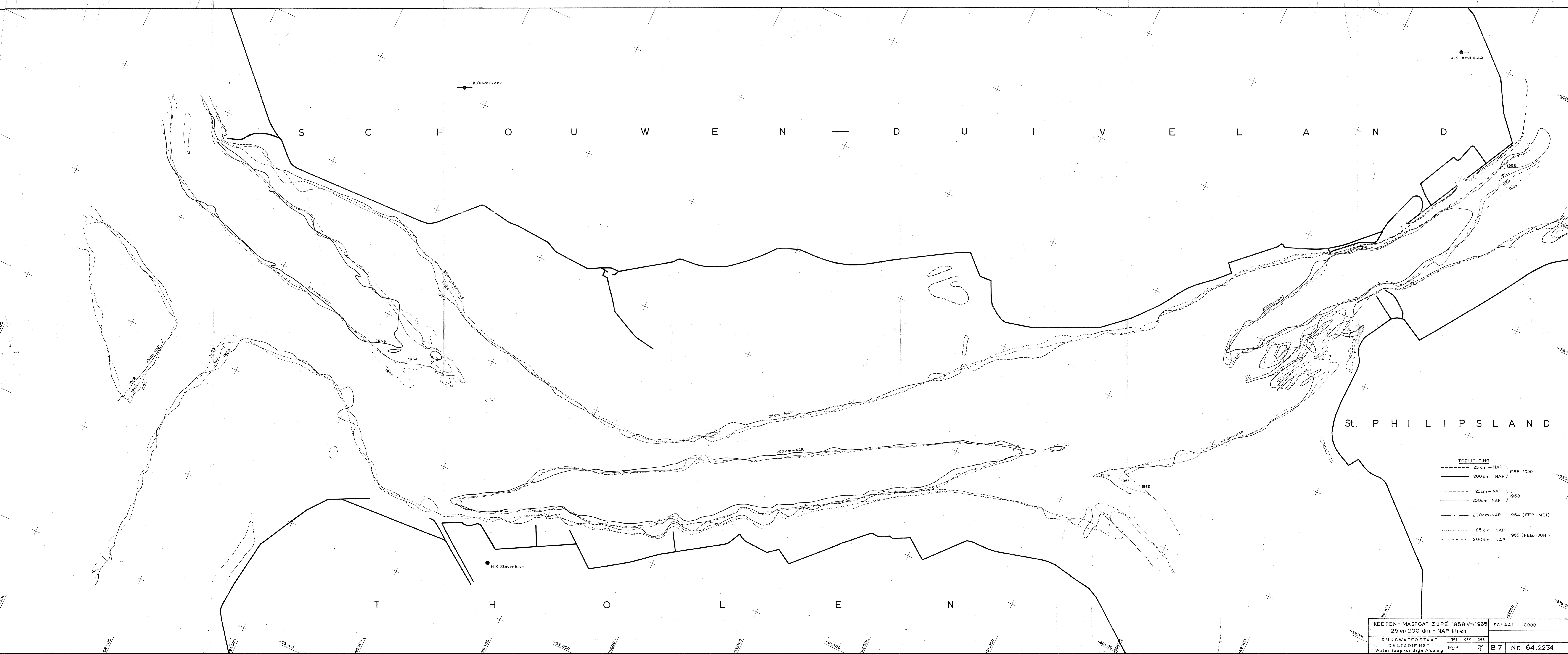
-  0-10 dm
-  10-20 dm
-  >20 dm

VERONDIEPING

-  0-10 dm
-  10-20 dm
-  >20 dm

FEBRUARI/APRIL MAART 1966

VERDIEPINGEN EN VERONDIEPINGEN KEETEN - MAST 1965 - 1966	VERDIEPINGEN IPE	SCHAAL 1: 10.000
RIJKSWATERSTAAT DELTA DIENST Waterloopkundige Afdeling	922	B 5 Nr 67.2194



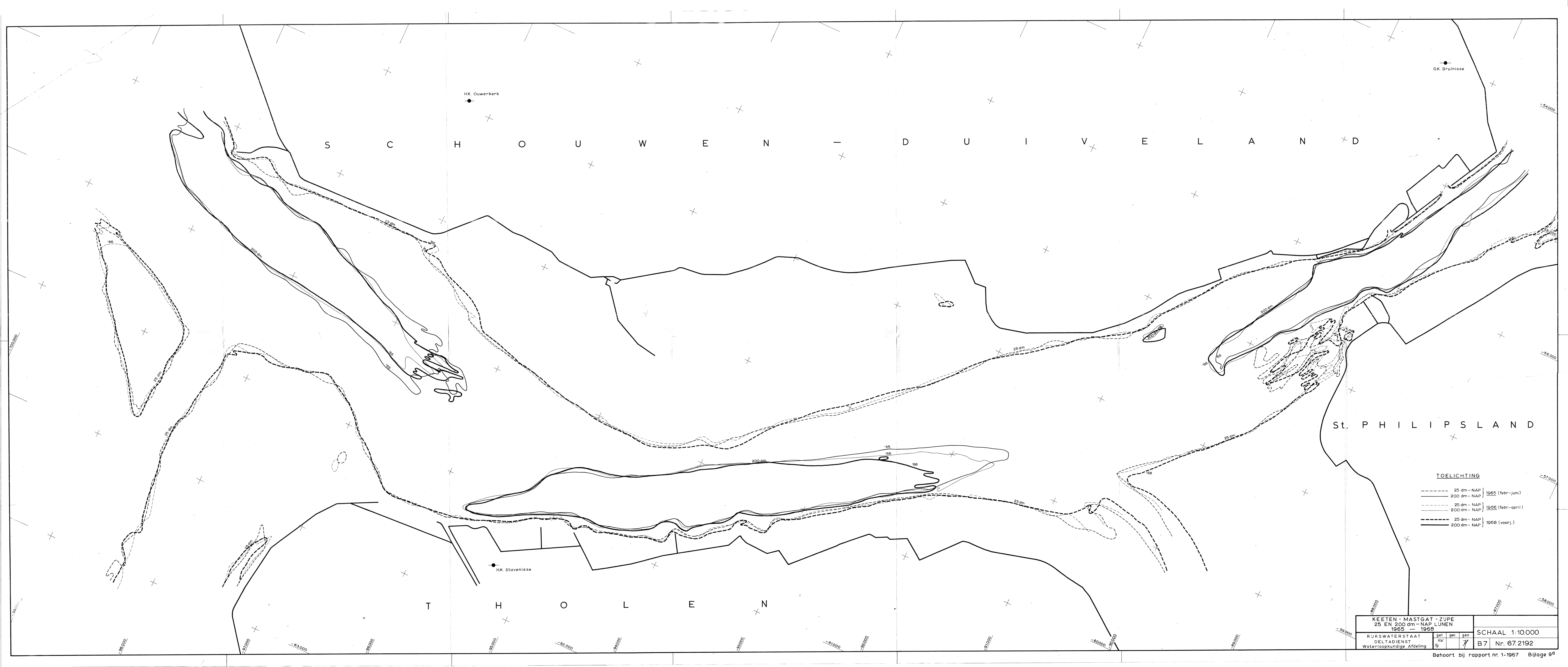
S C H O U W E N — D U Y V E L A N D

St. P H I L I P S L A N D

- TOELICHTING
- 25 dm - NAP } 1958-1959
  - 200 dm - NAP } 1958-1959
  - 25 dm - NAP } 1963
  - 200 dm - NAP } 1963
  - 200 dm - NAP } 1964 (FEB.-MEI)
  - ..... 25 dm - NAP } 1965 (FEB.-JUNI)
  - ..... 200 dm - NAP } 1965 (FEB.-JUNI)

KEETEN - MASTGAT ZUPE 1958 t/m 1965		SCHAAL 1:10000	
25 en 200 dm. - NAP lijnen			
R.U.K. WATERSTAAT	get.	gcz.	gez.
DELTA DIENST			
Waterloopkundige Afdeling			
		B7	Nr. 64.2274





S C H O U W E N - D U I V E L A N D

St. P H I L I P S L A N D

T H O L E N

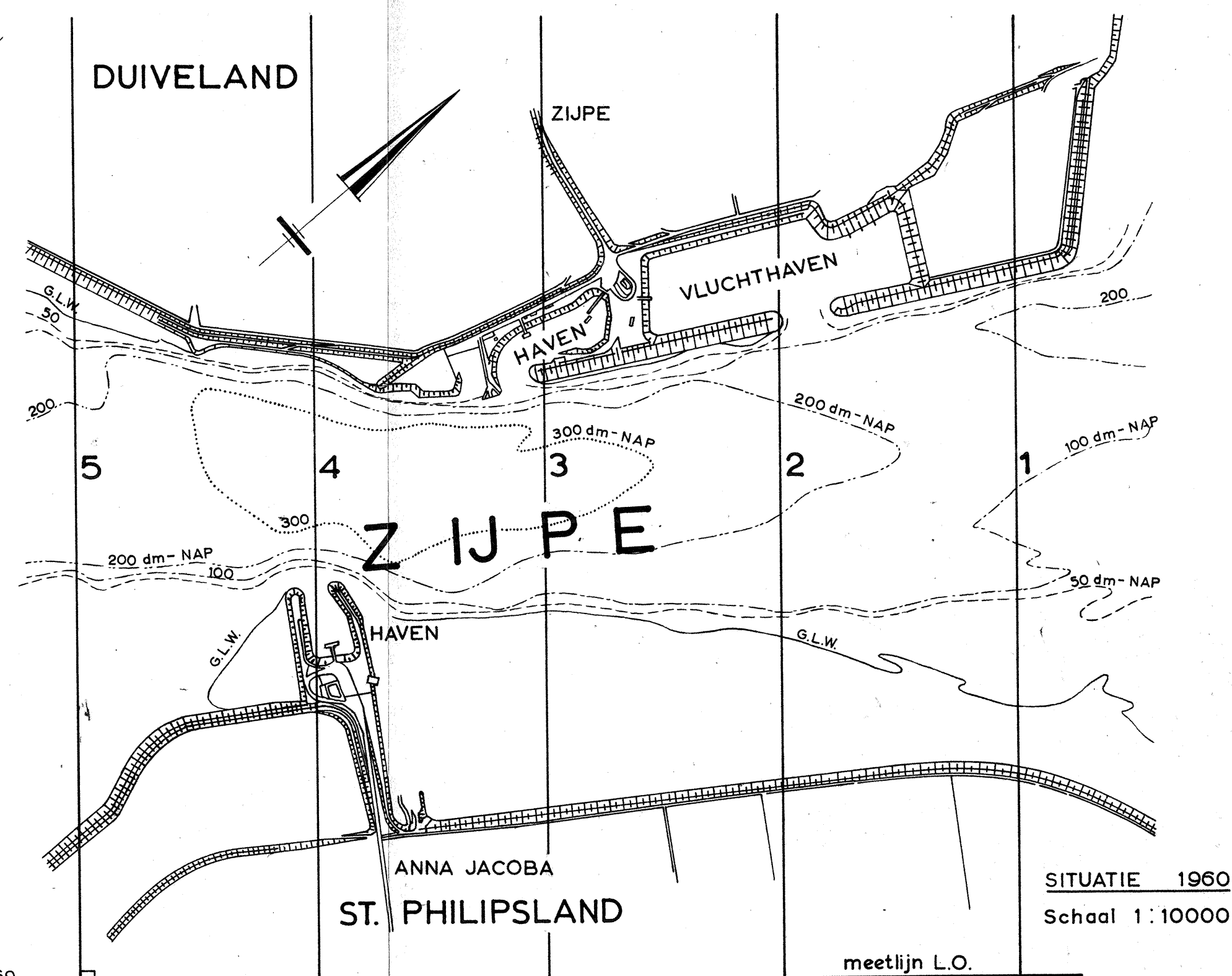
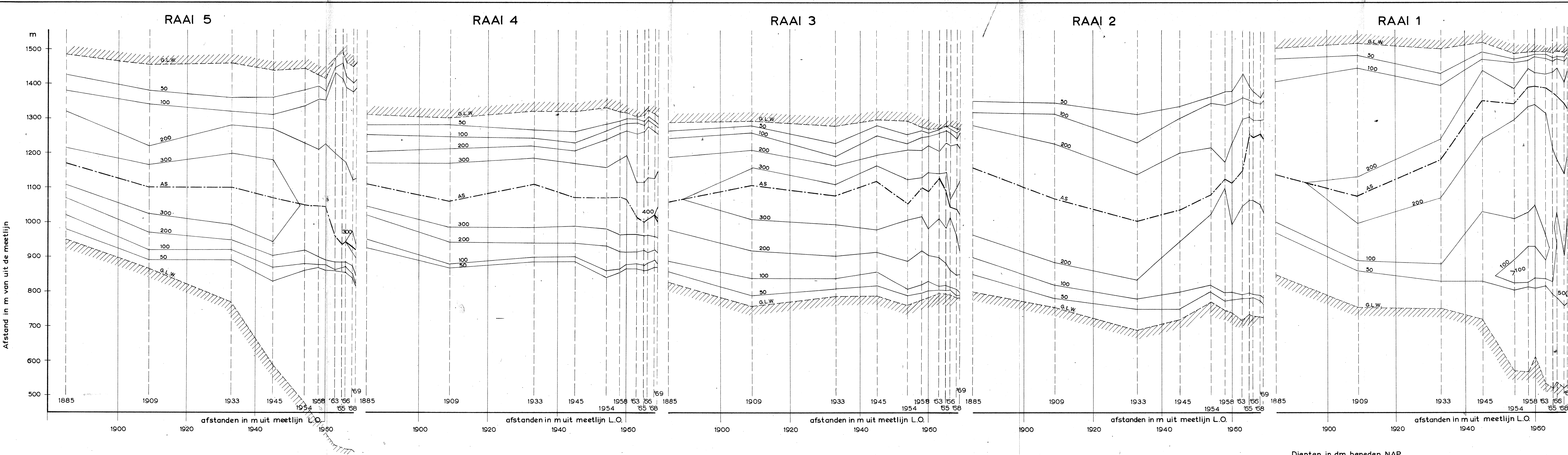
HK Ouwkerk

HK Stavenisse

TOELICHTING

- 25 dm - NAP | 1965 (febr.-juni)
- 200 dm - NAP | 1965 (febr.-juni)
- 25 dm - NAP | 1966 (febr.-april)
- 200 dm - NAP | 1966 (febr.-april)
- 25 dm - NAP | 1968 (voorj.)
- 200 dm - NAP | 1968 (voorj.)

KEETEN - MASTGAT - ZUPE		SCHAAL 1:10.000	
25 EN 200 dm - NAP LUNEN		B7 Nr. 67.2192	
1965 - 1968		get.	gez.
RUKSWATERSTAAT		1/4	1/4
DELTA DIENST		1/4	1/4
Waterloopkundige Afdeling		1/4	1/4



ZIJPE		Rapport Nr.1 1967	
BLIKSEMGRAFIEKEN 1885 - 1969			
RIJKSWATERSTAAT	getek. gecont. gezien		
DELTADIENST	Waterloopkundige afdeling		
		A 6 Nr. 61.325.	