

NN31545.0163

het onderzoek naar de verhoudingen tussen de afvoeren
van gedeelten van stroomgebieden

ir. J. Bon

Inleiding

Bij het bepalen van de afvoer van beken is de gebruikelijke techniek het stroomgebied in onderdelen te scheiden. Voor elk deel wordt een afvoercoëfficiënt geschat en een oppervlak berekend. Uit deze gegevens volgt een maximale afvoer. Dit is een werkwijze waarvan de onzekerheden wel bekend zijn. In vlak land zijn de waterscheidingen niet altijd duidelijk. Ze liggen bij hoog en laag grondwaterpeil niet altijd op dezelfde plaats en tenslotte vallen de waterscheidingen van oppervlaktewater en grondwater niet steeds samen. De afvoercoëfficiënten die men schat, hebben verder de algemeen bekende onzekerheid. In de navolgende beschouwing wordt aangegeven hoe men met een beperkt meetprogramma de afvoerverhoudingen kan vaststellen. Daarbij treden fouten en onzekerheden van eventuele tussenstadia in een berekening zoals de vaststelling van de waterscheidingen niet langer op en zal men een betrouwbaarder basis voor zijn berekeningen van de beekdimensies kunnen krijgen, zonder dat dit onderdeel tot een te uitgebreid programma behoeft uit te groeien.

Om dit programma te kunnen uitvoeren dient echter eerst aan de afvoermeting zelf de nodige aandacht te worden besteed.

Bij het bepalen van afvoeren in beken gaat het meestal om een verband te kunnen leggen tussen de neerslag en de maximale afvoer, die door een regenbui wordt veroorzaakt. De afvoer op het moment van meten wordt in verband gebracht met de waterdiepte. Na enige metingen met uiteenlopende afvoerhoeveelheden, wordt dit verband tussen de afvoer Q en de waterhoogte h vastgelegd in een grafiek, die de Q - h kromme weergeeft. Heeft men dit verband, dan kan volstaan worden met het bepalen van de waterhoogte. Op de grafiek kan dan de afvoer worden afgelezen.

Om snel afvoeren te meten zal men vooral naar eenvoudige middelen moeten omzien. Echter kunnen bij de verkregen gegevens merkwaardighe-

Jan 16/1082

den optreden, waarop men niet verdacht zou kunnen zijn. Zo kunnen watersnelheidsveranderingen optreden bij een constant peil indien een afvoergolf zich door de beek verplaatst. Het verschijnsel van de afvoergolf zelf kan moeilijkheden veroorzaken, indien op meerdere plaatsen afvoermetingen op een zelfde dag worden verricht. Ook de invloed van de neerslagverdeling in het stroomgebied heeft hierop invloed.

Het bepalen van de afvoer op meerdere meetpunten op een enkele dag geeft een inzicht betreffende de afvoerverhoudingen op de meetpunten. De afvoerverschillen tussen twee meetpunten geven ons de totaalafvoeren van het afvoergebied tussen deze twee punten. Er kan op deze wijze een inzicht gevormd worden in de totaalafvoeren van ieder onderdeel, zonder dat getaxeerd dient te worden hoeveel water uit een bosgebied, een zandbouwlandgebied en uit natte beekdalen vloeit.

Bespreking van het onderzoek

a. Gebiedsbeschrijving

Om de invloed van de regen op de afvoer van de beek na te gaan werd als object het stroomgebied van de Lunterse beek gekozen.

Het gebied zoals dit op de bijgaande kaart staat aangegeven heeft een oppervlakte van 7205 ha. Hiervan heeft 5739 ha een zichtbare en 1466 ha heeft een onzichtbare afwatering. Het gebied met de onzichtbare afwatering vormt een gedeelte van de gestuwde westelijke Veluwe-rand.

De algemene hoogteligging bedraagt ongeveer 15 m⁺ in het oosten dalende tot 5 m⁺ in het westen. De gemiddelde terreinhelling bedraagt dan 10 m over een afstand van ongeveer 10 km of 1:1000. Van west naar oost gaande bedraagt de gemiddelde terreinhelling 5 m over de eerste 8 km of 1:1600. Over de volgende twee kilometers bedraagt het hoogteverschil ook 5 m of 1:400 (zie kaart).

b. De waterhuishoudkundige toestand

Bij zware regens werden klachten geuit betreffende overstromingen. Hierdoor werd enige jaren geleden het plan tot verbeteringen van de afvoerleidingen opgesteld en nog steeds is het waterschap bezig de nog niet verbeterde beken uit te diepen, te verbreden en waar

nodig van stuwen te voorzien.

De grondwaterstanden in het gebied zijn over het algemeen niet diep. Deze diepte varieert voor het grasland in de winter tussen de 0,15 en 0,30 m en in de zomer tussen 0,50 en 1 m. De graslanden, die het grootste oppervlak innemen, hebben een sterk humeuze bovenlaag van 10 tot 30 cm dikte. Deze kan iets lemig zijn en daaronder bevindt zich een dichte geel-witte soms iets lemige zandondergrond.

De voeding van de beken geschiedt door

1. een zeer regelmatige aanvoer via kwel van water uit het hoge zandgebied van de Veluwe;
2. door de ontwatering van de percelen tussen de sloten en
3. door oppervlakkige afvoer van het regenwater.

Een scheiding tussen deze drie soorten van aanvoer valt niet gemakkelijk te maken. Voor een maximale afvoer-berekening doet het er weinig toe waar het water vandaan komt, als er maar een methode te vinden is om deze totale afvoer te benaderen die onder de meest ongunstige klimatologische omstandigheden zoals bij hoge grondwaterstand en grote buien te verwachten valt. Kleine buien op een uitgedroogde grond zullen geen grote afvoeren en overstromingen teweegbrengen. Zware buien daarentegen, vallende op een natte doorweekte grond, die zowel in de zomer als in de winter kunnen optreden, zullen wel tot grote afvoer aanleiding geven. De af te voeren hoeveelheid water zal dan binnen de boorden van de beek dienen te blijven als deze op de vereiste grootte zijn verbeterd of aangelegd.

1. Afvoermetingen

Enkele meetmethoden die in het stroomgebied van de Lunterse beek werden toegepast zijn de volgende:

a. Meting met de molen of vleugel van Ott

Met de molen van Ott - die in diverse uitvoeringen verkrijgbaar is - wordt in een opgemeten dwarsprofiel op verschillende punten de stroomsnelheid gemeten. Uit deze stroomsnelheden en de daarbij behorende waterhoogte wordt de afvoer berekend. Deze metingen kunnen zowel bij geringe als bij grotere waterdiepten worden verricht. De metingen kunnen zowel bij gestuwde als ongestuwde beken worden uitgevoerd.

b. Bepaling van de overstorthoogte

Bij een stuw of vlak meetschot kan de afvoer worden bepaald uit de hoogte van de vrij overstortende waterschijf. Daar de stuw in de Lunterse beek bij hoogwater gestreken worden, werd deze methode veel toegepast bij matige tot kleine overstorthoogten. Een lange staaf, waaraan verschuifbaar een rechthoekige driehoek is bevestigd van een meter lengte met aan het uiteinde een stift, wordt op de kruin van de stuw geplaatst. De driehoek laat men zover zakken tot de stift het wateroppervlak raakt. Een waterpas op het horizontale been gemonteerd, geeft aanwijzingen of de staaf verticaal staat. Bij aanraking van de stift met het wateroppervlak wordt de hoogte van de overstortende waterlaag - h - op de verticale staaf afgelezen. Door de bepaling van deze hoogte - h - en de breedte - b - van de stuwopening, kan de afvoer - Q - met behulp van de formule $Q = 1,8 bh\sqrt{h}$ worden berekend. Deze methode werkt zeer snel.

c. De volumemeting

Om kleine afvoeren bij stuwen met een volledige overstort te meten kan gebruikgemaakt worden van een emmer met een maatverdeling tot 10 l. Op deze emmer werd een zinken deksel met een rechthoekige opening van 10 of 20 cm breedte geplaatst, al naar gelang de grootte van de afvoer. Langs de randen van deze opening werd een opstaande rand aangebracht, om te voorkomen dat extra water via de deksel in de emmer stroomt. De tijdsduur om de 10 l water op te vangen moet met de chronometer worden bepaald. Uit de verhouding van de totale overstortbreedte en die van de emmeropening kan de afvoer per seconde worden berekend. Om de nauwkeurigheid van de meting te vergroten, zal de afvoer op minstens drie plaatsen van de stuwbreedte en in enkele herhalingen moeten worden gemeten.

Onderlinge vergelijking van de uitkomsten van de verschillende meetmethoden zijn wel gewenst, daar nu eens deze en dan weer een andere meetmethode gebruikt wordt. De verkregen gegevens kunnen dan door elkaar worden verwerkt.

2. Onregelmatigheden van de stroomsnelheid bij afvoergolven

Afvoermetingen in beken worden over het algemeen op die plaatsen uitgevoerd die gemakkelijk bereikbaar zijn en waar het profiel van de beek niet aan grote veranderingen onderhevig is. In een recht

beekstuk, zonder plantengroei, zandopslibbing of uitschuring, wordt de meting het meest begunstigd. Dergelijke plekken zijn dikwijls duikers of stuwen. Zo werden de metingen bij de monding van de Lunterse beek bij de benedenste stuw verricht (meetpunt I, zie kaart).

Worden in een grafiek de gemiddelde stroomsnelheden uitgezet tegen de bijbehorende waterhoogten, dan blijkt dat bij geringe waterdiepten tot 30 cm de stippen in de grafiek goed om een lijn te liggen. Bij hogere beekpeilen werden de afwijkingen groter, zie figuur 1. Hieruit bleek dat dus bij een zelfde waterdiepte de stroomsnelheid sterk varieerde. Dit kan onder andere veroorzaakt worden door een verandering van het verhang, daar het peil en dus ook de natte doorsnede constant bleef. De veronderstelling dat de wandruwheidsverandering de oorzaak zou kunnen zijn, bleek niet juist te zijn, daar het een betonbodem betrof. Doordat echter op 150 m boven het meetpunt een zelfregistrerende meter was aangebracht, kon worden nagegaan, of ten tijde van de meting het beekpeil stijgende of dalende was, of dat het op een constant niveau bleef. Bij de stippen in de figuur 1 zijn pijltjes gezet die aangeven welke peilverandering plaatsvond.

De stroomsnelheden die bij een zelfde waterdiepte gemeten werden bij een stijgend beekpeil zijn groter dan die bij een dalend beekpeil. Bij een stijgend beekpeil is het verhang van het wateroppervlak in dit geval dus groter geworden dan het gemiddelde en kleiner bij een dalend beekpeil. De hoogte en de breedte van de lussen in de figuur hangen waarschijnlijk samen met de snelheid waarmee een grote of een kleine afvoergolf tot ontwikkeling komt. Bij een plotseling opkomende afvoergolf door een zware bui wordt het verhang sterk vergroot.

Om een indruk te krijgen hoe de stroomsnelheid in een natuurlijk profiel van de beek verandert, werden tevens enkele metingen bij de registrerende meter verricht, op 150 m boven meetpunt I. De resultaten worden weergegeven in de figuur 2. In deze figuur werden naast de stroomsnelheden in de beek ook de stroomsnelheid in de stuw uitgezet tegen het beekpeil bij de meter.

Geconstateerd werd dat in het natuurlijk beekprofiel de stroomsnelheid boven de 4 m⁺ praktisch niet meer verandert en ongeveer constant blijft op 11,4 dm/sec. Zowel bij een stijgende als bij een dalende afvoergolf blijft het verband tussen de waterhoogte en de stroomsnelheid hier gehandhaafd. Dit mag echter nog niet tot de conclusie leiden dat in de beek niet-stationaire effecten afwezig zijn. Zelfregistrerende instrumenten zijn nodig om van de ongetwijfeld be-

strande niet-stationaire invloeden de omvang vast te stellen.

De metingen van de stroomsnelheid dienen niet alleen ter controle van de toelaatbare watersnelheden in de beek, doch voornamelijk voor de bepaling van de afvoer.

De totale afvoer van het stroomgebied van de Lunterse beek wordt in de benedenste stuw gemeten, daar hier de bodem weinig aan verandering onderhevig is. Bij de registrerende meter die 150 m boven de stuw staat is de bodem onregelmatig door stenen, beschoeiingspalen, uitschuring en inkalving van de taluds.

Worden de berekende afvoeren Q op het meetpunt I in een grafiek uitgezet tegen de waterhoogte h bij de meter, dan wordt het verband tussen deze twee factoren vastgelegd in de zogenaamde $Q-h$ kromme. In de figuur 3 die de $Q-h$ lijn aangeeft van het meetpunt I zijn bij enkele punten pijltjes getekend, die aangeven of de meting tijdens een stijgende of dalende afvoergolf heeft plaatsgevonden.

Deze gevonden afvoerverschillen ten opzichte van de gemiddelde $Q-h$ lijn kunnen behalve door opstuwingseffecten van de stuw in de beek veroorzaakt zijn doordat het oorspronkelijke verhang van de beek verandert door het opkomen en later weer dalen van de afvoergolf.

De grootte van de afwijking tussen de afvoerhoeveelheden bij een stijgende of dalende afvoergolf bedraagt in het benedenste leidingvak bij een peil van $3,50 \text{ m}^+$ tot 4 m^+ ongeveer 11%. Wordt de afvoer aan de hand van een enkele meting van het beekpeil bepaald, dan zal men op de gemiddelde lijn, die door de punten van de grafiek gaat, bij het gegeven peil de afvoer in $\text{m}^3/\text{sec.}$ aflezen. De fout in de afvoer die gemaakt kan worden bedraagt dan niet meer dan 5,5%. Bij normaal hoog water, waarbij de afvoer ongeveer 4000 l/sec. bedraagt, is de fout plus of min 220 l/sec., hetgeen hier overeenkomt met 0,3 mm/dag.

3. De voortplantingsnelheid van de afvoergolf

Door zware regenbuien zal het water zich via het land in de sloten en beken verzamelen. Het eerst zal het water dat langs de sloten valt snel in de sloot verzameld worden. Door een relatief grote verhouding van de natte doorsnede en de hydraulische straal in de sloot ten opzichte van een beek en door een kleinere n -factor van Manning zal het slootpeil sterk stijgen wil een grote afvoer

plaatsvinden. Bovendien is de afwaterende oppervlakte die op een sloot door greppels afvoert ook groter dan wat direct van het land op een beek afgevoerd wordt. Ook de grotere beek neemt het regenwater via de grond op en verder stroomt water van de kanten, doch dit zal door de grote afvoercapaciteit direct afgevoerd worden en een afvoergolf zal door dit weinige water bijna niet te meten zijn. Pas als het water in vele sloten is gestegen en de relatief grotere weerstand heeft overwonnen zal het slootwater naar de beek worden afgevoerd. Om deze relatief grotere stromingsweerstand van de sloot te overwinnen, moet achter in de sloten het peil meer en eerder zijn opgelopen dan bij de beek. Door de toestroming van water uit de diverse sloten krijgt de beek vrij snel een grotere afvoer te verwerken en ontstaat een peilverhoging die zich naar beneden voortplant. Dit wordt ook door een drietal zelfregistrerende beekpeilmeters, die in het stroomgebied van de Lunterse beek zijn opgesteld geconstateerd en op de registratiestroken als een afvoergolf weergegeven. Deze zijn geplaatst bij de meetpunten I, III en IX (zie kaart).

Uit de registratiestroken van deze meters is gebleken, dat de afvoergolven, die door een bui worden teweeggebracht slechts van betrekkelijk korte duur zijn. Om dergelijke toppen te kunnen meten ten behoeve van het onderzoek naar de afvoerverhoudingen op de verschillende beekvakken, is het gewenst om na te gaan of de voortplantingstijd van de afvoergolf tussen twee punten praktisch constant is, of dat deze afhankelijk is van andere factoren. Enkele factoren die hierop van invloed kunnen zijn, zijn uit de literatuur bekend. Enkele van deze factoren zijn onder andere: de richting en de snelheid waarmee een regenbui over het stroomgebied trekt, de verdeling van de regen over het gebied, de intensiteit van de bui, de vorm van ieder afzonderlijk stroomgebied van de zijleidingen, de dichtheid van het slotenstelsel, enz. Deze meteorologische en morfologische factoren zijn niet in dit onderzoek betrokken, met uitzondering van de neerslaggegevens. Deze worden later nog behandeld.

Uit de registratiestroken van de meters kon het tijdstip waarop het beekpeil begon te stijgen worden afgelezen. Eveneens werd het tijdstip afgelezen van de top van de afvoergolf. Op deze wijze kon zowel voor het begin van de peilstijging als voor die van de top de voortplantingstijd worden nagegaan die nodig is om zich van het hoger gelegen meetpunt naar het lagere te verplaatsen. Doordat de mogelijk-

heid zou bestaan dat het beekpeil nog enige invloed zou uitoefenen op deze voortplantingstijd, werden deze tijden in een grafiek uitgezet tegen de waterhoogte op het lager gelegen punt. Zo werd de voortplantingstijd tussen de punten IX en III uitgezet tegen het beginpeil van punt III. Het bleek dat de tijdspreiding uiteenliep van 0 - $3\frac{1}{2}$ uur. Een enigszins constante tijd werd dus niet waargenomen. Ook een verband tussen de waterhoogte en het tijdsverloop werd niet aangetoond (zie figuur 4).

De figuur 5 geeft een dergelijk overzicht als figuur 4, doch hier betreft het de tijdsduur die verloopt tussen de meetpunten III en I. Ook hier werd geen verband tussen de voortplantingstijd van de beginstijging en de waterhoogte aangetoond. Wel valt het op dat de variatie in de voortplantingstijd tussen deze twee punten groter is dan tussen de vorige punten. De tijdsduur varieerde nu van een $\frac{1}{2}$ tot $5\frac{1}{2}$ uur.

Worden de drie meetpunten een uur na elkaar doorgemeten, dan kunnen de gemeten afvoeren zeer sterk van hun gemiddelde afvoerhoudingen afwijken.

Wordt vervolgens de vertragingstijd van de golftop tussen de punten IX en III vergeleken met die van de beginstijging, dan blijkt de spreiding nog groter te zijn. In de figuur 6 is deze vertragingstijd van de golftop IX tegen het toppeil van meetpunt III uitgezet.

Vergelijken wij de figuren 4 en 6 met elkaar, dan blijkt uit de figuur 4 dat het begin van de beekpeilstijging op de meetpunten IX en III veelal gelijktijdig of één uur na elkaar optreedt. Slechts enkele malen heeft de beginstijging van de afvoergolf een langere tijd nodig. Dit kan niet gezegd worden van de top van de afvoergolf, zie figuur 6. Hieruit volgt, dat de ontwikkeling van de afvoergolf vanaf het beginpunt tot de top zeer verschillend is. Het verplaatsen van de golftop van punt IX naar punt III duurt gemiddeld 4 uur. Dit is dus ongeveer $3\frac{1}{2}$ uur langer dan de tijd die het beginpunt van de stijging nodig heeft om deze afstand af te leggen.

Uit deze drie voorbeelden blijkt de grote moeilijkheid om bij vergelijking van de afvoeren van verschillende afdelingen van een stroomgebied uit een serie metingen van een enkele dag de juiste afvoerhoudingen van de meetpunten onderling te weten te komen. Door vele

dagmetingen worden de afwijkingen enigszins genivelleerd tot een gemiddelde afvoerverhouding, daar niet steeds op dezelfde tijd voor of na een top op elk meetpunt wordt gemeten.

4. De regenverdeling over het gebied

De enige meteorologische gegevens die vrij snel zijn te verzamelen of zijn op te vragen bij het K.N.M.I. zijn de dagregencijfers van enige waarnemingsstations. Ook eigen regenwaarnemingen zijn eenvoudig te verzamelen.

In hoeverre de regen regelmatig verspreid over het stroomgebied valt, toont ons het volgende correlatie-diagram. Voor afvoerbepalingen van een heel stroomgebied wordt gezocht naar de relatie tussen de neerslag en de afvoer. De neerslag dient dan regelmatig, gelijktijdig en met dezelfde intensiteit te vallen. Onregelmatigheden ten opzichte van deze punten kunnen de verwerking van de metingen van de afvoergolven verstoren. De met overheersende westelijke winden vallende neerslag zal dan ook het eerst in het westen worden afgevoerd.

Een afvlakking van de afvoertop bij de monding kan daardoor plaats vinden. Door de flessenhals-vormige oppervlakte van het westelijk deel van het stroomgebied zal de neerslag die het eerst in het westen valt door het geringe oppervlak relatief weinig afvoeren.

Bovendien is bij een zelfde toevoer van water in de brede benedenlopen de stijging van het beekpeil moeilijker te constateren dan in de kleine bovenlopen.

Onweersbuien die in de zomer vallen en doorgaans een grote intensiteit bezitten, vallen zeer onregelmatig verspreid over het gebied. Ook hierdoor kunnen grote afvoerverschillen in de zijbeken en ook in de hoofdbeek voorkomen, waardoor de afvoerverhoudingen tussen de beken op het moment van doormeten niet de juiste waarde weergeven.

Om een indruk te krijgen van de spreiding van de gevallen regenhoeveelheden is in figuur 7a de dagregenval van het regenstation Woudenberg en in figuur 7b die van de regenmeter van de Rijkswaterstaat bij het meetpunt III, beide uitgezet tegen de regenval van het regenstation te Lunteren. De spreiding van de punten bedraagt zowel in de horizontale als in de verticale asrichting ongeveer 15 mm.

5. De bepaling van de afvoerverhoudingen van beekvakken in een stroomgebied

Door in een stroomgebied op verschillende plaatsen afvoermetingen op een zelfde dag te verrichten kan de onderlinge verhouding van de afvoeren per meetpunt bepaald worden. Over de grootte van het waterafvoerende oppervlak behoeft men zich in eerste instantie niet te bekommeren. Evenmin is het van direct belang om de maatgevende afvoer al te kennen. Deze kan naderhand uit de relatie van de neerslag tot de afvoer op een enkel punt worden bepaald. Door de bekend geworden onderlinge afvoerverhouding kan dan voor al de meetpunten de maatgevende afvoer worden vastgesteld.

Het is dus niet nodig om vooraf een gebied op te splitsen in hoge zandbouwland-gronden, bosgronden, lage graslanden enz. en van elk van deze stukken een afvoer te schatten. Op ieder meetpunt wordt de totale afvoer gemeten.

Door in een stroomgebied op een zelfde dag op vele meetpunten de afvoer te meten en dit onder verschillende omstandigheden van regen en grondwater te herhalen en de gegevens in afvoerdiagrammen tegen elkaar uit te zetten, krijgt men een idee van de afvoerverhoudingen op de verschillende meetpunten. Wel moet men verdacht zijn op de spreiding van de punten die kunnen ontstaan uit de afvoermetingen, zoals de verandering in de stroomsnelheid, de variatie in de vertragingstijd van de afvoergolf en in die van de regenval.

In de figuur 8 zijn als voorbeeld de afvoerdiagrammen van meetpunten van een bovenloop aangegeven. Het betreft hier de afvoerdiagrammen van de meetpunten IX en X van de Overwoudse beek, waarvan de afvoeren zijn uitgezet tegen die van het meetpunt IV van de Lunterse beek.

De spreiding van de meetpunten om de lijn die de gemiddelde verhouding van de afvoeren aangeeft is niet groot, daar de hoeveelheden water niet zo groot zijn. De punten konden kort na elkaar gemeten worden.

Figuur 9 geeft de onderlinge verhouding aan tussen de totaalafvoer op meetpunt I en de drie andere meetpunten van de Lunterse beek namelijk II, III en IV. Tevens zijn de totale afvoerverhoudingen met de drie zijbeken aangegeven, de Fliertse beek XI en de Munnike beek V en de nog niet verbeterde Modderbeek XIII.

Om de lijnen van de afvoerverhoudingen zo goed mogelijk tussen

de punten door te trekken, is het van belang om tijdens de meting na te gaan, of de afvoergolf nog stijgende of dalende is. Men is er dan op verdacht, dat een punt boven of beneden de lijn valt. Ook dient er op gelet te worden, dat de lijn van de gemiddelde afvoerverhouding zodanig tussen de gegeven punten wordt getrokken, dat de afvoer van een benedenstrooms gelegen punt die op de verhoudingslijn wordt afgelezen groter moet zijn dan de som van de afvoeren van twee of drie stroomopwaarts gelegen zijbeken. Zo moet als voorbeeld de afvoer van meetpunt II groter zijn dan III en V samen en van meetpunt III groter dan XIII, XI en IV samen.

Bij een snelle afvoermeting van twee punten na elkaar tijdens een afvoergolf is namelijk meermalen geconstateerd, dat op een hoger gelegen punt in vergelijking met het volgende lager gelegen punt een gelijke of grotere afvoer werd gemeten. In een dergelijk geval werd op het eerste meetpunt de golftop wel getroffen maar was deze nog niet op het lagere meetpunt gearriveerd.

Indien de afvoer van een gebied betrokken wordt op zijn oppervlakte kan door middel van deze afvoerverhouding worden nagegaan hoeveel liter per seconde per ha op een meetpunt wordt afgevoerd, doch ook hoeveel liter het gebied tussen twee meetpunten afvoert. Het eerste geval is van belang voor de berekening van de maten van de hoofdafvoerleiding, het tweede geval geeft een aanwijzing voor de grootte van de sloten, die het regenwater tussen de twee meetpunten moeten afvoeren.

Heeft men het geluk om zeer hoge afvoeren te kunnen meten, die de toelaatbare afvoer dicht benaderen dan is men goed georiënteerd over wat de afvoeren onder dergelijke omstandigheden in de beekvakken kunnen zijn.

De analyse van de afvoeren per meetpunt kan aan de hand van de verzameltabel 1 worden gemaakt.

Tabel 1

Afvoerverhoudingen per meetpunt, bij een totaalafvoer van 4 en 10 m³/sec. op meetpunt I

		totaal afvoer op meetpunt I van						
		4 m ³ /sec.			10 m ³ /sec.			
1	2	3	4	5	6	7	8	
meetpunt	ha	l/sec	l/sec/ha	mm/etm	l/sec	l/sec/ha	mm/etm	
Lunterse beek	I	5740	<u>4000</u>	0,69	6,0	(10280) <u>10000</u>	(1,9) 1,74	(16,4) 15,0
	II	5380	3800	0,7	6,0	(9824) 9520	(1,33) 1,77	(15,8) 15,3
	III	3580	2410	0,67	5,8	6000	1,68	14,5
	IV	660	560	0,85	7,3	(1960) 1380	(2,96) 2,1	(25,6) 18,1
Munnike beek	V	1530	1150	0,75	6,5	(3040) 3000	(1,99) 1,98	(17,3) 17,1
	VI	1440	1000	0,79	6,8	(3450) 2620	(2,38) 1,8	(20,6) 15,6
	VII	1080	800	0,74	6,4	(2965) 2080	(2,75) 1,94	(23,8) 16,8
	VIII	540	340	0,63	5,4	(1275) 860	(2,35) 1,6	(20,3) 13,8
Overwoudse beek	IX	500	420	0,84	7,3	(1380) 1040	(2,75) 2,08	(23,8) 18,0
	X	350	230	0,66	5,7	(560) 480	(1,6) 1,38	(13,8) 11,9
Fliertse beek	XI	810	670	0,83	7,1	1500	1,85	16,0
	XII	580	450	0,77	6,7	1010	1,74	15,0
Modderbeek	XIII	1650	840	0,51	4,4	1650	1,0	8,6

De tussen haakjes geplaatste afvoeren zijn de hoogst gemeten waarden op de meetpunten

Deze tabel geeft aan, hoe de afvoeren van al de meetpunten zich verhouden ten opzichte van de afvoer aan het eindpunt I, indien daar 4000 l/sec. en 10.000 l/sec. wordt afgevoerd. Een afvoer van 4 m³/sec. komt overeen met normaal hoog water. Een afvoer van 10 m³/sec. benadert de afvoer van een bui van 50 mm bij een hoge grondwaterstand van

ongeveer 30 à 40 cm beneden maaiveld. Een bui van 50 mm in de maand augustus kan met een frequentie van één maal per 20 jaar overschreden worden, maar of hierbij de grondwaterstand steeds hoog zal zijn is niet bekend. Bij diepere grondwaterstand zal de afvoer van 50 mm regen ook kleiner zijn.

De hoogste afvoer die werd gemeten bedroeg 10.280 l/sec. op 5 december 1961. In de tabel zijn voor enkele meetpunten de hoogste gemeten afvoeren in de kolommen 6, 7 en 8 tussen haakjes geplaatst.

De tabel 2 geeft voor dezelfde omstandigheden de afvoeren aan, die per beekvak worden afgevoerd, dus het verschil in afvoer tussen twee opeenvolgende meetpunten.

Tabel 2

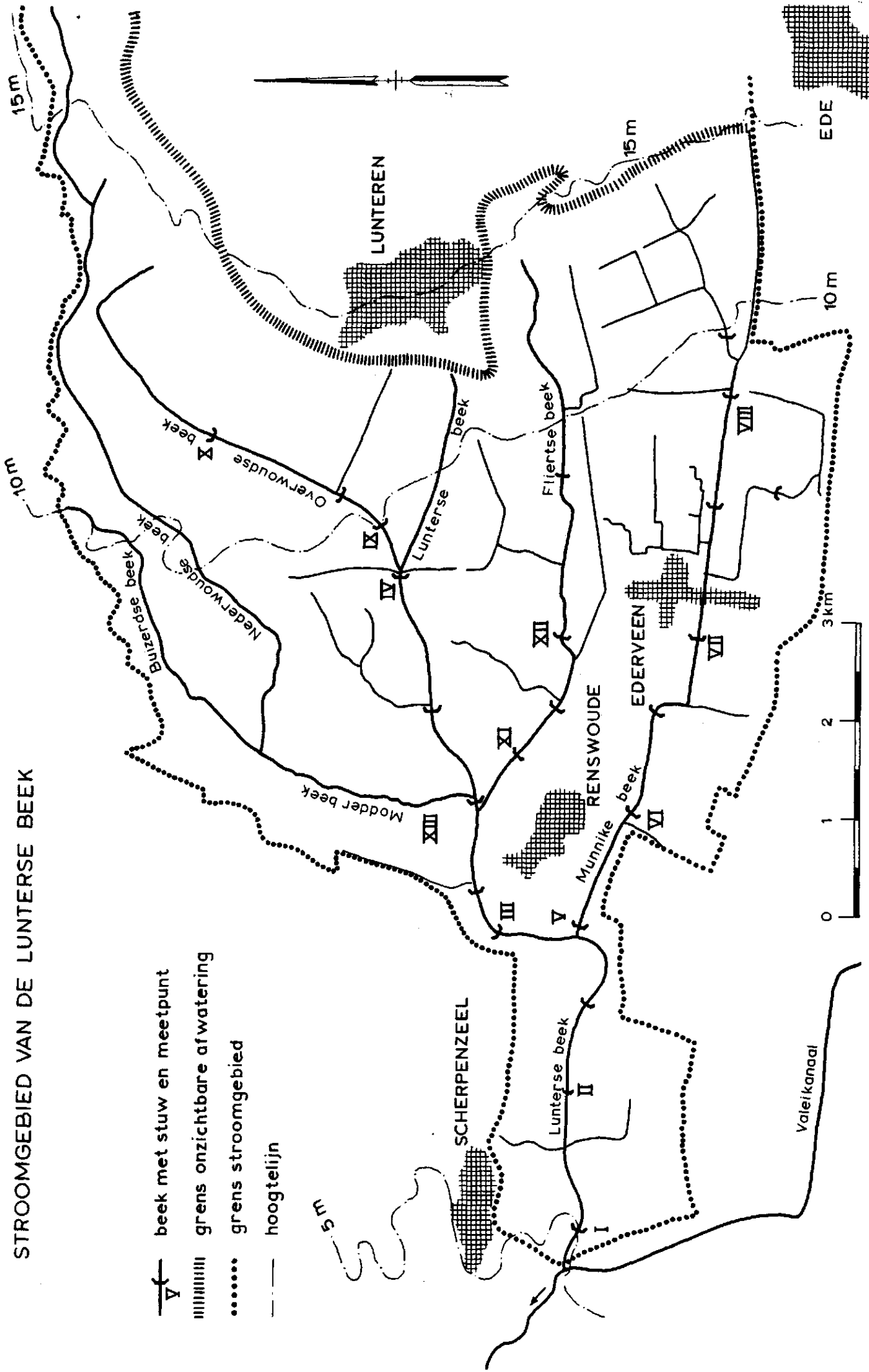
Afvoerverhoudingen per beekvak bij een totaal-afvoer van 4 en 10 m³/sec. op meetpunt I

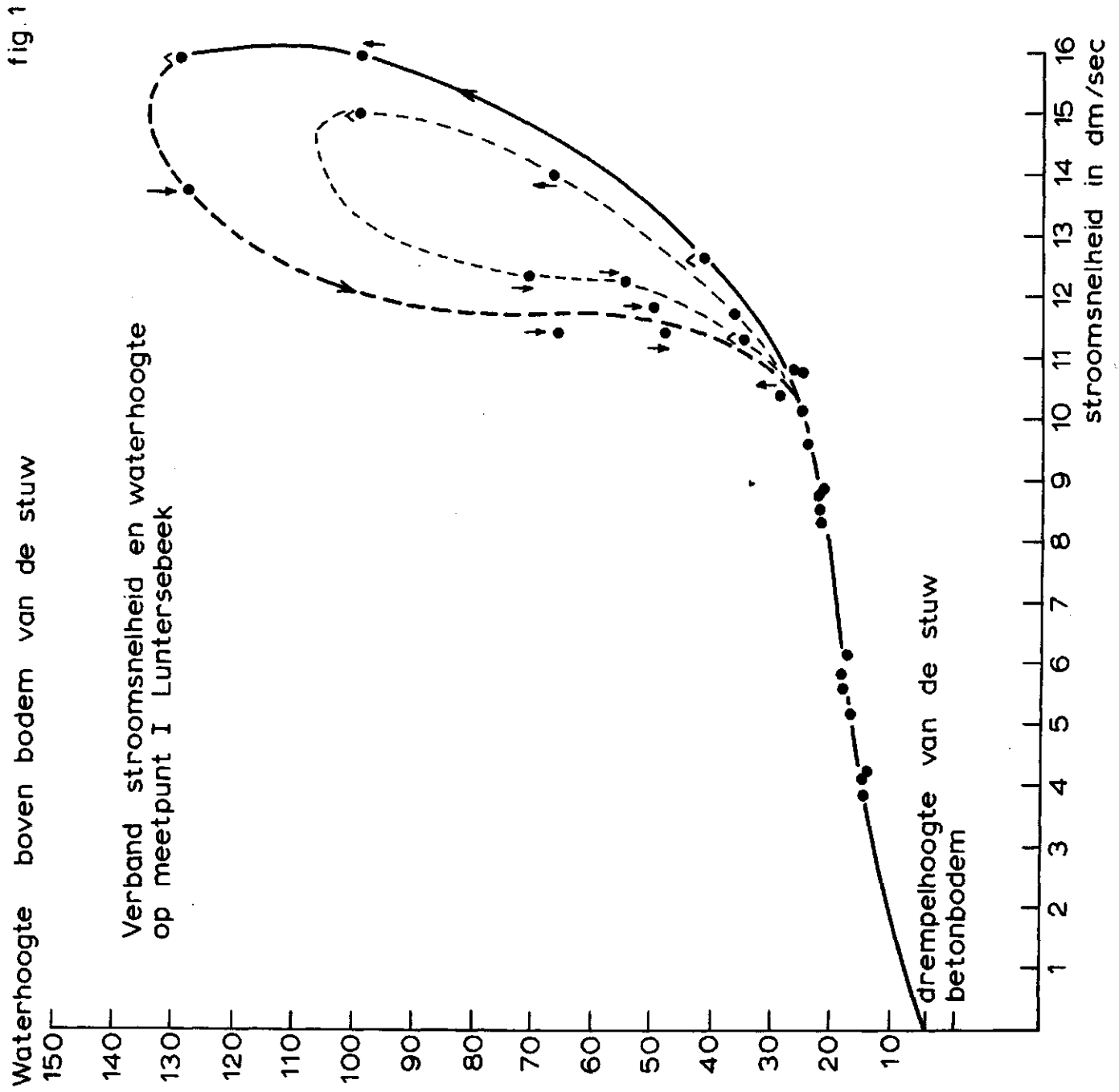
		totaal-afvoer op meetpunt I van						
		4 m ³ /sec.			10 m ³ /sec.			
1	2	3	4	5	6	7	8	
meetpunt	ha	l/sec	l/sec/ha	mm/etm	l/sec	l/sec/ha	mm/etm	
Lunterse beek	I	360	200	0,55	4,8	480	1,33	11,5
	II	270	240	0,89	7,7	520	1,91	16,5
	III	560	340	0,61	5,3	1470	2,62	22,6
	IV	160	140	0,88	7,6	340	2,13	18,4
Munnike beek	V	90	150	1,13	9,8	380	4,21	36,4
	VI	360	200	0,55	4,8	540	1,5	13,0
	VII	540	460	0,85	7,3	1220	2,26	19,5
	VIII	540	340	0,63	5,4	860	1,6	13,8
Overwoudse beek	IX	150	220	1,43	12,4	560	3,73	32,2
	X	350	230	0,66	5,7	480	1,38	11,9
Fliertse beek	XI	230	220	0,95	8,2	490	2,13	18,4
	XII	580	450	0,77	6,7	1010	1,74	15,0
Modderbeek	XIII	1650	840	0,52	4,4	1650	1,0	9,6

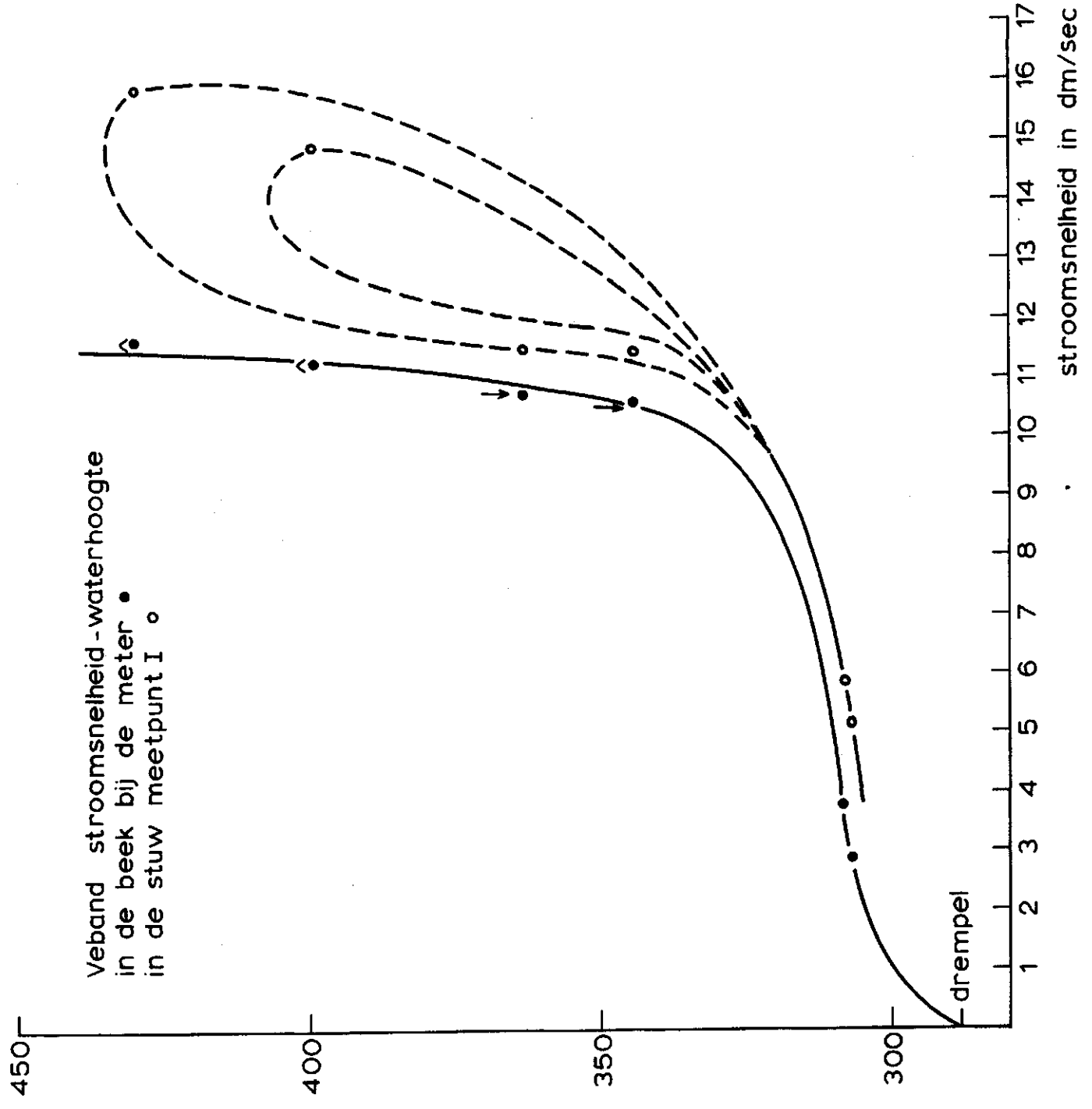
Deze tabellen geven niet alleen een inzicht in de betrekkelijk grote afvoeren, doch ook wordt de nadruk gelegd op die gebieden waar zeer hoge en betrekkelijk lage afvoeren voorkomen. Voor de berekening van de profielen van leidningen en sloten geven deze variaties in de afvoer waardevolle exacte aanwijzingen.

Voor de praktijk kunnen in de tijd van een zomer en de daaropvolgende winter voldoende gegevens verzameld worden voor de bepaling van de afvoerverhoudingen, indien deze seizoenen niet te droog uitvallen.

STROOMGEBIED VAN DE LUNTERSE BEEK

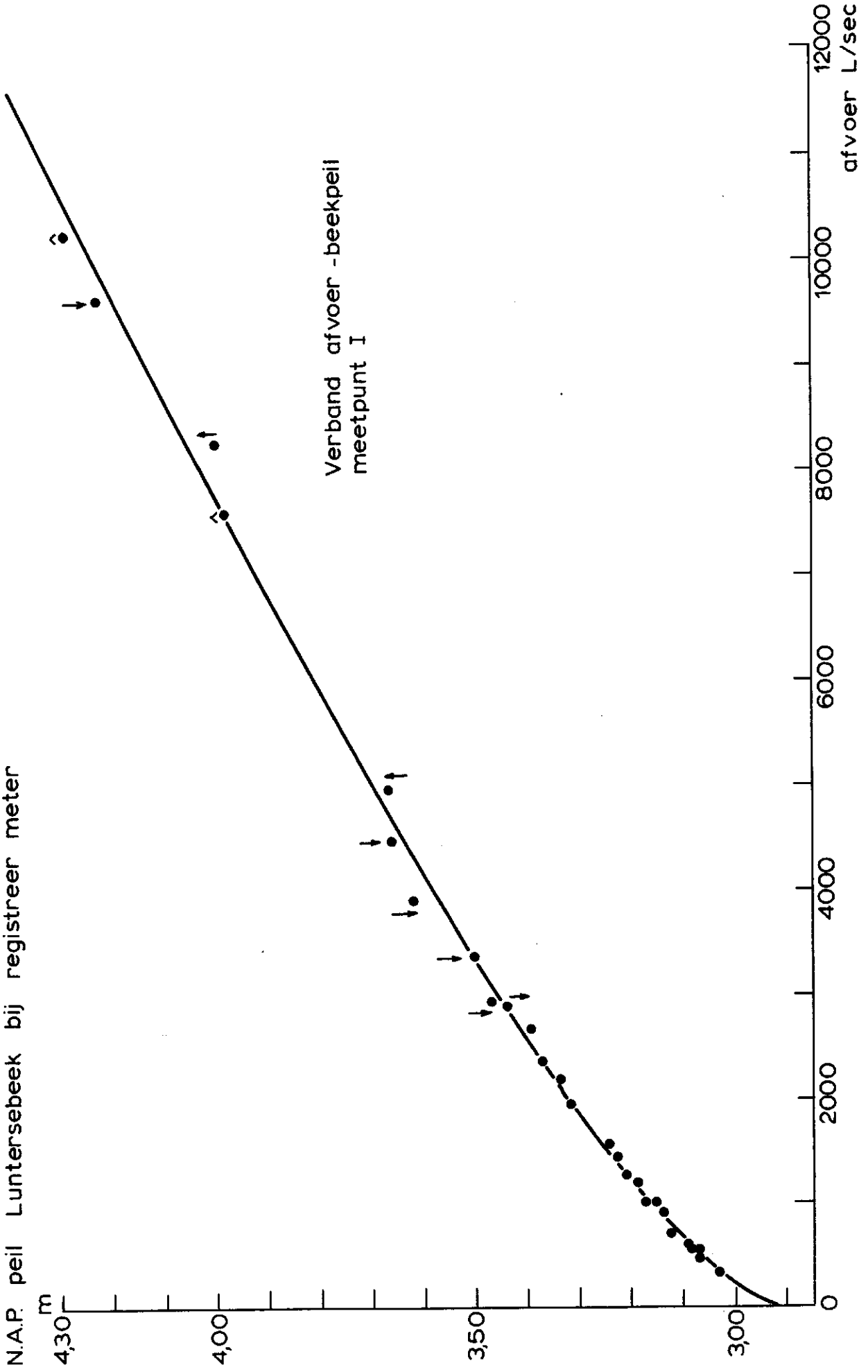


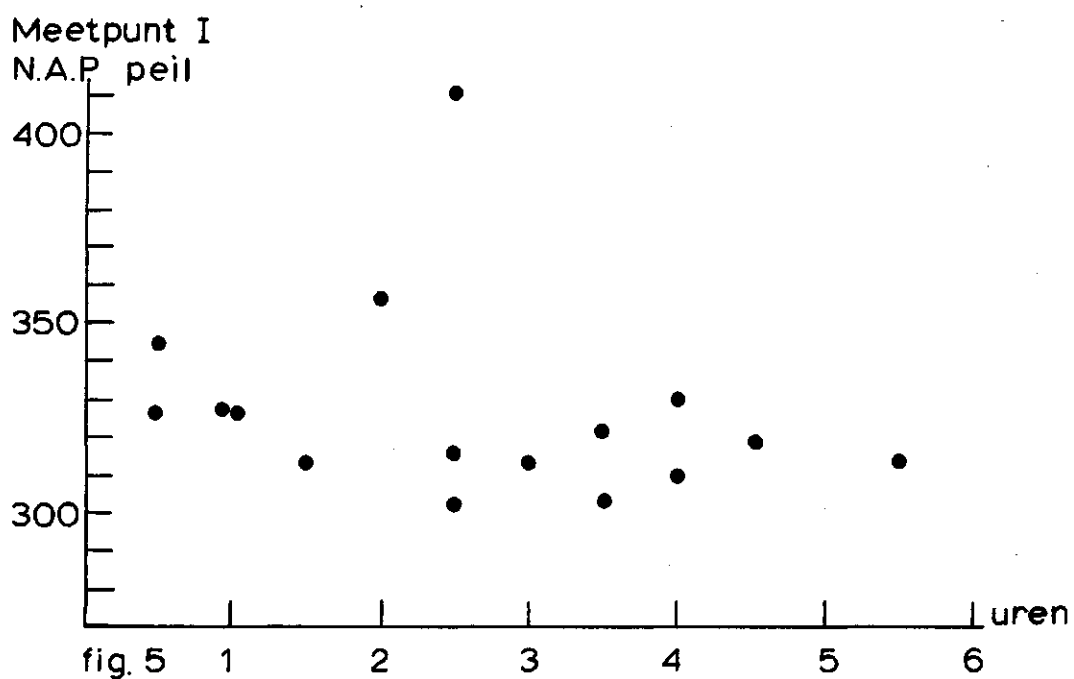
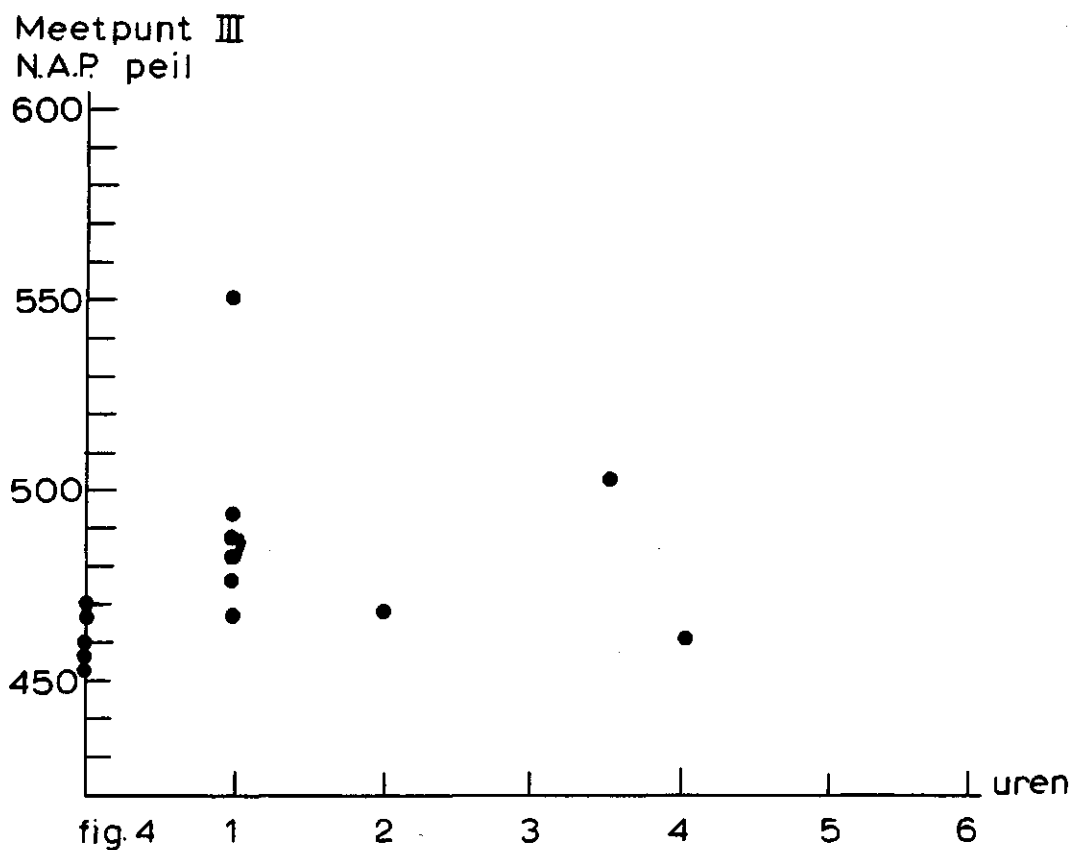




N.A.P. peil Luntersebeek bij registreer meter

fig. 3





Het verband tussen het beekpeil en de voortplantings-
tijd van het begin van de afvoergolf tussen de meet-
punten IX en III fig. 4 en tussen III en I fig. 5

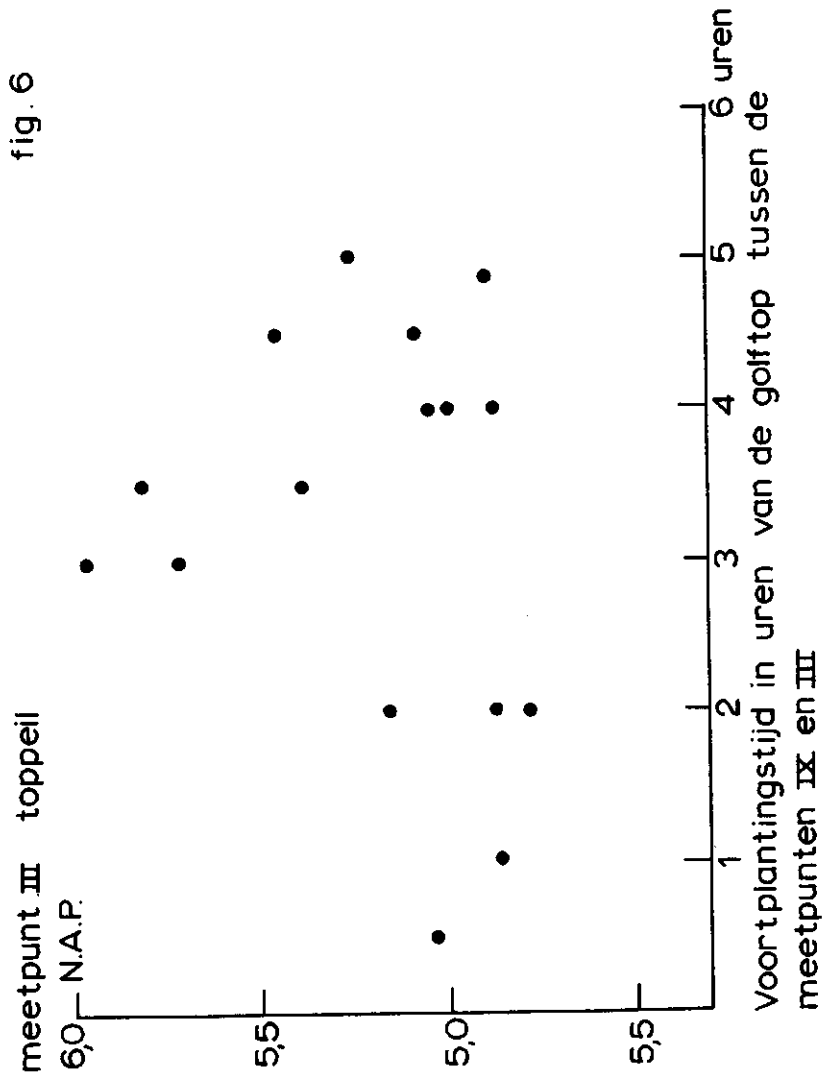


fig.7b

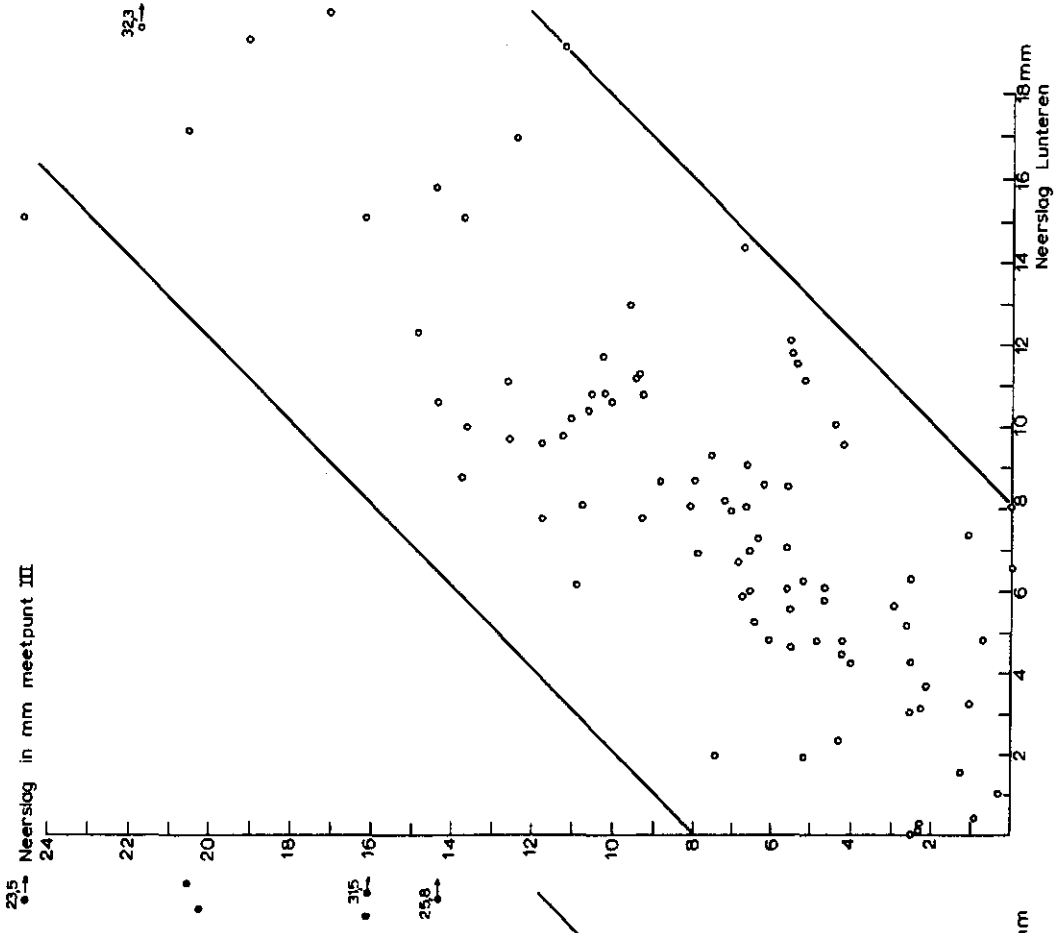


fig.7a

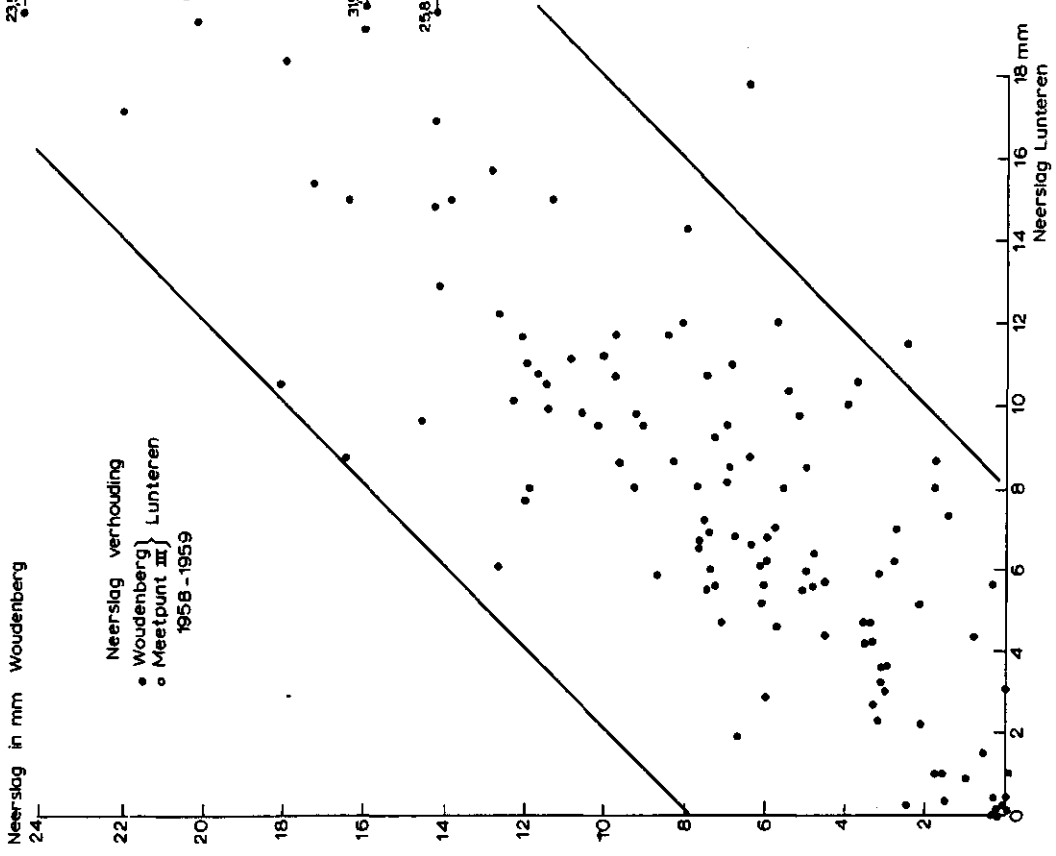


fig. 8

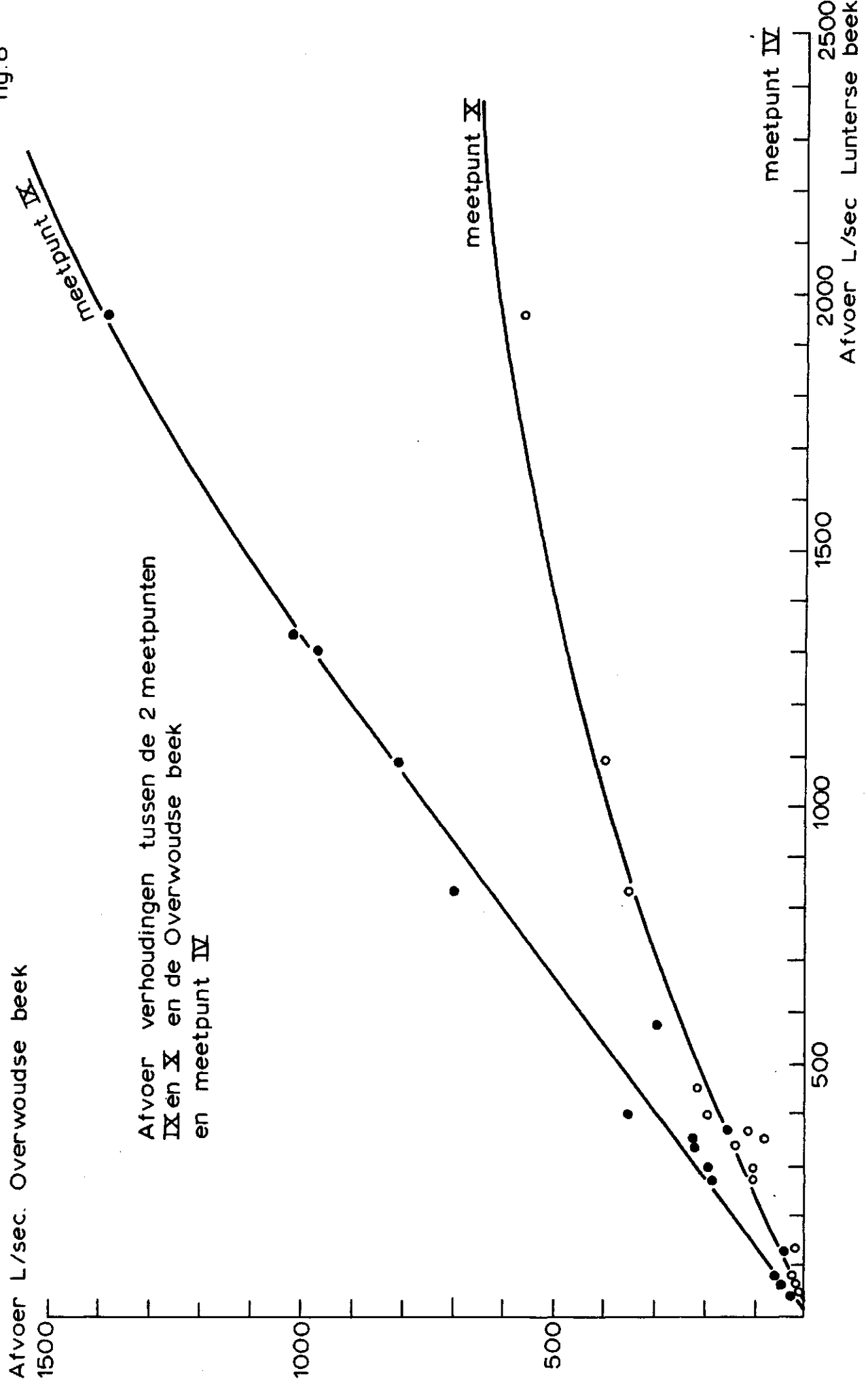


fig. 9

