

NN31545.0479

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 479, d. d. 5 september 1968

**Stromingsverschijnselen bij afvoergolven in beken**

**H. Humbert en J. Bon**

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

---

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-  
delen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onder-  
zoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking.

---



1707741

DE WET OP DE RIJSGOEDEREN

ARTIKEL 1. De rijsgoederen zijn:

1. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

2. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

3. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

4. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

5. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

6. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

7. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

8. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

9. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

10. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

11. de rijsgoederen, waarvan de lijst in de bijlage bij deze wet is opgenomen;

## 1. Inleiding

De afstroming van het regenwater door of over de grond naar sloten en beken heeft een afvoervermeerdering en peilstijging in de hoofdleidingen tot gevolg. Al naarmate de bergingscapaciteit in of op de grond en in de sloten groter of kleiner is, zal het peil op een meetpunt in de hoofdleiding bij een zekere hoeveelheid en intensiteit van de neerslag langzamer of sneller stijgen. Ook de afstand van het meetpunt tot aan de grens van het opvanggebied en het verhang in de leidingen hebben invloed op de hoogte van het peil en op de snelheid van stijging.

De afvoer vanuit een klein opvanggebied zal door de korte afstand tot het lozingspunt sneller op de peilveranderingen reageren dan wanneer die afstand groot is. Door de grotere af te leggen afstanden moeten meer stromingsweerstand in de leidingen worden overwonnen en kan door de toenemende dimensies van de leidingen meer water in de leidingen worden geborgen. DE JAGER (1965) noemt dit het reservoir-effect.

De grootste concentratie van de afvoer (hoogste peil) op een meetpunt, zal van een klein opvanggebied dat deel uitmaakt van een groot stroomgebied, eerder plaatsvinden dan aan de uitmonding van het grote stroomgebied. De stijgende en dalende gedeelten van een geregistreerde afvoergolf zijn van een klein gebied dan ook veelal steiler en de toppen spitsler dan die aan het uiteinde van het grote stroomgebied (HENDERSON, 1966).

Hiermee samengaan zullen de verhangen en stroomsnelheden bij variërende peilen ook verschillende waarden moeten hebben. Onderzoek naar dergelijke verschijnselen heeft in enkele beken in de Gelderse Achterhoek en in het stroomgebied van de Lunterse beek in de Gelderse Vallei plaats gevonden.

## 2. De verplaatsingstijd en de vervorming van een afvoergolf door een beek

Zoals in de inleiding is vermeld, zal de golftop in een beek zich van bovenstrooms naar beneden met de tijd verplaatsen, doordat de concentratietijd van het afstromende water, in stroomafwaartse richting steeds groter wordt door de toenemende afstand. Wanneer de regen gelijktijdig en regelmatig over het hele stroomgebied valt, zal een klein opvanggebiedje aan het benedeneinde van de hoofdleiding misschien even snel zijn maximum afvoer op de hoofdleiding afgeven, als het kleine opvanggebied aan het bovineinde van het grote stroomgebied. In het bovengebied is de hoofdleiding echter vele malen kleiner en het verhang zal vaak groter zijn dan aan het benedeneinde. Daardoor is de peilstijging

... de verandering van de ... in ...  
... de een ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...

14

... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...  
... de ... van de ...

in de bovenleiding eerder waar te nemen en veel groter dan in de grote benedenleiding (DON GRAY, 1962; WISLER and BRATER, 1956). Het peil in de bovenleiding daalt na het maximum te hebben bereikt weer snel door sterke vermindering van de aanvoer, doch in de benedenleiding moet dan nog bijna al het overtollige water van bijna het hele gebied worden afgevoerd. Nadat in het bovineinde de afvoertop reeds is bereikt en het peil daarna weer daalt, blijft het peil aan het benedeneinde nog stijgen tot het moment dat de maximum concentratie van het water uit zijbeekjes en sloten is bereikt.

De tijd van de verplaatsing van de golftop tussen een bovenstrooms gelegen punt en een punt benedenstrooms is niet constant. Verschillende invloeden zijn hier de oorzaak van, zoals:

1. de ongelijkmatige regenval en intensiteit op het hele gebied
2. de buirichting (tegen de afvoerrichting in of met de stroomrichting mee)
3. het ongelijke bergend vermogen van de grond (klein bergend vermogen geeft snelle afvoer)
4. de mogelijkheid tot inundatie (langs sloten en hoofdleidingen)
5. onregelmatigheden in het dwarsprofiel van de leidingen (duikers, peilers, begroeiing, erosie en sedimentatie)
6. geen constant bodemverhang in de leidingen.

Het onderzoek naar de verplaatsingstijd en de vervorming van een afvoergolf heeft in 1966-1967 plaats gevonden, voornamelijk in de Veengoot en in de Baakse beek.

In de Veengoot waren drie registrerende meters geplaatst en wel aan de bovenloop bij Barlo, meetpunt V1 (520 ha), aan de weg Harreveld - Lichtenvoorde, meetpunt V2 (2190 ha) en bij Vorden, meetpunt V4 (1040 ha). De afstand tussen V1 en V2 was 3,5 km en tussen V2 en V4 25 km.

Het stroomgebied behorend bij V1 is sterk hellend en de grond is op geringe diepte ondoorlatend. Iedere regenbui veroorzaakt vrij snel een peilstijging. Het gebied tussen V1 en V2 omvat een vlak graslandgebied 'het Goor' genaamd. Het bevat veel sloten en heeft over het algemeen hoge grondwaterstanden. Tussen V2 en V4 liggen zowel grote vrij vlakke graslandgebieden als hogere zandruggen. Het gemiddelde slootbodemverhang tussen V1 en V2 bedraagt 4,5 cm/100 m en tussen V2 en V4 3,9 cm/100 m.

De tijd die de afvoertop nodig heeft om van het meetpunt V1 naar V2 te komen varieert van  $\frac{1}{2}$  tot  $12\frac{1}{2}$  uur. Deze variatie hangt sterk af van het gevuld

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

... (text is mirrored and difficult to read) ...

zijn of het vullen van het Goor, dat soms als boezemland fungeert. Ook de vervorming van de afvoertop wordt hierdoor beïnvloed, zoals in fig. 1a is aangegeven. In deze figuur zijn de stijghoogten van de afvoertoppen tegen de tijd uitgezet. De snel op de regen reagerende peilfluctuaties, zoals die bij V1 optreden, zijn bij het meetpunt V2 niet meer merkbaar en nog minder bij V4. Bij het meetpunt V4 zijn verschillende afvoertoppen, die bij V1 duidelijk zijn waar te nemen verdwenen en overlapt door een volgende afvoertop. Dit verschijnsel van het in hoogte en afvoer toenemen van een tweede golftop na een eerste, bij grotere afstanden tussen de meetpunten wordt beschreven door VEN TE CHOW (1959). De tijdsduur die een afvoertop nodig heeft om van V1 naar V4 te komen varieert van 8 tot 25 uur.

De indruk werd verkregen, dat wanneer een zware bui valt op het moment dat door hoog grondwater een kleine bergingscapaciteit aanwezig is, de verplaatsingssnelheid van de golftop groter wordt.

Vooraf uit fig. 1a blijkt duidelijk, dat op een bepaald moment de peilen op het eerste meetpunt dalen, terwijl die op de andere meetpunten stijgen of constant blijven. De absolute hoogteverschillen in de peilen wisselen door dit stijgen en dalen van het peil en de verplaatsing van de afvoergolf. Hierdoor ontstaan verschillen in de verhangen van de waterspiegel, welke niet gelijk zijn aan die van het bodemverhang. Procentueel kunnen deze verhangvariaties zeer aanzienlijk worden (BAUCH, 1968).

Het onderzoek in de Baakse beek heeft plaats gehad over een traject van 3,49 km tussen de landgoederen de Wierse en Wientjesvoort, gelegen tussen Ruurlo en Vorden. Dit stuk beek wordt gekenmerkt door een breed dal tussen twee zandruggen. Enkele wegen in ophoging kruisen dit dal waardoor enkele kommen ontstaan die bij hoog water kunnen inunderen. In dit gebied waren een vijftal registrerende peilmeters geplaatst. Over deze korte onderlinge afstanden tussen de meters werden soms aanzienlijke tijdsduren van de afvoertopverplaatsing tussen de Wierse (meetpunt BI) en Wientjesvoort (meetpunt BV) waargenomen. De variatie bedroeg hier  $\frac{1}{2}$  tot 23 uur. De indruk werd verkregen dat hier het tijdsverschil groter werd, naarmate het peil steeg. Als oorzaak wordt verondersteld dat hier de inundatieoppervlakte sterk toeneemt bij stijgend beekpeil.

De onderlinge afstanden tussen de meetpunten BI en BII bedraagt 900 m, tussen BII en BIII 900 m, tussen BIII en BIV 1290 m en tussen BIV en BV 400 m. Een voorbeeld van de vervorming van de afvoertop en de tijdsduur van het passeren van de golftop bij de andere meetpunten, wordt gegeven in fig. 1b.





### 3. Peil- en verhangveranderingen bij afvoergolven

Uit het voorgaande blijkt dat door de verschillende reacties in het peilverloop tussen twee of meerdere meetpunten, het verval en daarmee dus direct ook het verhang in de waterspiegel door dit complex van oorzaken niet constant zal zijn. Om een inzicht te krijgen in de reacties van het verhang bij de optredende peilfluctuaties werden voor het meetpunt V2 in de Veengoot en in de Baakse beek tussen de meetpunten I tot en met V de veranderingen in het verhang bij wisselend peil nader onderzocht. De gegevens van het meetpunt V2 werden verzameld met behulp van een zelfregistrerende peilverhangmeter (VISSER, 1965) over een afstand van 50 m, terwijl de gegevens van de Baakse beek berekend werden uit de geregistreeerde peilen van een vijftal registrerende peilmeters.

Enkele gegevens betreffende de onderzochte leidingvakken werden in tabel 1 samengebracht.

Tabel 1. Enkele samengevatte gegevens van de meetpunten

leidingvak		bodem breedte m	talud helling	maximum waargenomen peilfluctuaties cm	afstand waarover verval werd gemeten m	bodem verhang cm/100 m	verhangvariatie i.d. waterspiegel cm/100 m
Veengoot	V2	± 2,80	1:0,25	90	50	11	1 - 7
Baakse beek	BI -BII	± 6	1:0,11	90	900	3,5	3,25 - 4
Baakse beek	BII -BIII	± 6	1:0,11	90	900	1,8	1,9 - 3
Baakse beek	BIII-BIV	± 6	1:0,11	95	1290	2	3 - 4
Baakse beek	BIV -BV	± 6	1:0,11	95	400	4,25	1,5 - 4

In fig. 2 werden van de meetpunten V2, BIII en BV per uur of per 3 uur de afgelezen of berekende verhangen (in cm/100 m) uitgezet tegen de daarbij geregistreeerde peilen. Aan de hand van deze figuur valt op te merken, dat voor meetpunt V2 in fig. 2a in het algemeen bij hogere peilen en bij peilstijgingen het verhang afneemt. Direct na het bereiken van het toppeil wordt een forse toename van het verhang waargenomen, welke toename zich bij verdere peildaling voortzet. Uit de verzamelde gegevens bleek het verhang in de waterspiegel (maximaal ± 7 cm/100 m) kleiner te zijn dan het aanwezige bodemverhang van 11 cm/100 m (HUMBERT, 1967).



Uit fig. 2b (Baakse beek BIII, leidingvak BIII-BIV) valt waar te nemen, dat bij het begin van een peilstijging eerst een afname van het verhang gevonden wordt. Bij een verdere peilstijging neemt, ongeacht het peilniveau, het verhang snel toe. Tijdens het toppeil neemt het verhang dan weer snel af, in tegenstelling tot de waarnemingen op meetpunt V2. Gedurende de peildaling echter, valt evenals op meetpunt V2 een verhangtoename waar te nemen. Hier blijkt echter het verhang in de waterspiegel constant groter te zijn dan het waargenomen bodemverhang van 2 cm/100 m (tabel 1).

Het leidingvak BIV-BV geeft weer een ander beeld. Hier gaan hogere peilen in het algemeen gepaard met een toename van de verhangen. Peilstijgingen laten een toenemend verhang zien en bij dalende peilen nemen de verhangen af. Uit tabel 1 blijkt dat het verhang in de waterspiegel van dit leidingvak steeds kleiner is dan het gemeten bodemverhang van 4,25 cm/100 m.

Hoewel van de leidingvakken BIII-BII en BII-BI geen figuren zijn opgenomen, is het gedrag van de verhangen in de waterspiegel ongeveer in overeenstemming met dat van fig. 2b. Het verhang in de waterspiegel van het leidingvak BII-BIII is steeds groter dan het gemeten bodemverhang, slechts de minimum verhangwaarden zijn bijna gelijk aan die van het bodemverhang. In het leidingvak BI-BII is het verhang in de waterspiegel soms kleiner, doch meestal groter dan het bodemverhang.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat er, aan de hand van de gestelde voorbeelden, van te voren geen juiste prognose gedaan kan worden over de reacties van het verhang in de waterspiegel en de optredende absolute waarden van dit verhang. De lijnen die de samenhang weergeven tussen het peil en het verhang vormen lussen, die soms rechts, soms links draaiend zijn. Van plaats tot plaats en van moment tot moment zal men binnen zekere grenzen een verschillend verhang, ook bij eenzelfde peil, zien optreden. Het constateren van dit feit geeft echter nog geen oorzaak of verklaring. Het feit dat er tussen de meetpunten BI en BV bij hoog water vrij grote inundaties optreden, zou in dit verband het onderling afwijkend gedrag van het verhang in de waterspiegel uit de figuren 2b en 2c kunnen verklaren. Volgens peilfluctuatiedigrammen zal deze inundatie optreden bij een peil van 12,30 m +N. A. P. en hoger op meetpunt BIII en 11,70 m +N. A. P. en hoger bij meetpunt BV. Zowel in fig. 2b als fig. 2c worden bij deze peilen echter geen specifieke veranderingen in de reacties van het verhang waargenomen. De inundatie als zodanig blijkt dus niet van overwegende invloed te zijn.



De afname van het verhang bij het begin van een nieuwe peilstijging zou verklaard kunnen worden uit een stuweffect dat kan ontstaan door afvoer uit zijsloten beneden het meetpunt, voordat de grote afvoergolf op het meetpunt is aangekomen. Zijn deze toevoer hoeveelheden relatief klein, zoals bij meetpunt BIII (fig. 2b) en bij de meetpunten BI en BII, dan wordt dit effect door de grotere aanvoer van de afvoergolf uit bovenstroomse gebieden teniet gedaan en neemt het verhang weer toe. Bij het meetpunt V2 (fig. 2a) blijft waarschijnlijk de toevoer van grotere hoeveelheden water uit het vlakke gebied bij Harreveld voortduren. Hierdoor blijft het stuweffect gehandhaafd totdat het toppeil is bereikt. Pas na de afvoer van het water beneden Harreveld en de daling van het beekpeil aldaar, kan het peil op het meetpunt V2 dalen en het verhang toenemen (afzuigkromme). Een dergelijk verschijnsel werd ook waargenomen in de Aaltense Slinge bij de Duitse grens. Hier wordt het stuweffect waarschijnlijk veroorzaakt door de nauwe bochtige beek zelf, die niet snel genoeg de aanvoer kan verwerken.

Naast het voorgaande kan nog gewezen worden op het ontbreken van de samenhang tussen het bodemverhang en het verhang in de waterspiegel. Vooral in een niet genormaliseerde of gereguleerde leiding in een hellend gebied blijkt de bodemhoogte binnen vrij nauwe grenzen constant in beweging te zijn. Door het grote aantal bodem oneffenheden (erosiegeulen, zandbanken, etc.) is het uitermate moeilijk het juiste bodemverhang vast te stellen. Ook de plaats en de afstand van het meettraject, waarover het verhang in de waterspiegel wordt bepaald, beïnvloedt de grootte van het verhang in de waterspiegel door plaatselijke omstandigheden (o. a. zandbanken, kuilen, profielvernauwingen etc.). Deze waarde van het verhang wisselt bij hoge en lage peilen. Hieruit kan het ontbreken van de samenhang tussen het bodemverhang en het verhang in de waterspiegel worden verklaard. Dit temeer omdat deze samenhang in de ontwerptechniek steeds wordt gehanteerd. Of deze samenhang in wezen echter bestaat zal nader onderzoek eventueel duidelijk moeten uitwijzen.

#### 4. De invloed van het verhang in de waterspiegel op de gemiddelde stroomsnelheid

Volgens de alom in Nederland toegepaste stromingsformule van Manning voor het berekenen van nieuw te graven of te verbeteren open leidingen  $v = k_M R^{2/3} s^{1/2}$  is de gemiddelde stroomsnelheid ( $v$ ) gecorreleerd aan het verhang in de waterspiegel ( $s$ ). Het peil wordt onder andere bepaald door het verhang. Waardeveranderingen in het verhang moeten dus bij gelijkblijvend peil invloed hebben op de stroomsnelheid.

De afkomst van het woord "geest" is onduidelijk. Het kan afkomstig zijn van het Oudnederlandse "geist" of het Latijnse "spiritus". In de filosofie wordt het woord gebruikt om te verwijzen naar de geest of de ziel. Het is een abstract begrip dat niet kan worden aangeraakt of waargenomen. Het is een innerlijk fenomeen dat de mens in staat stelt te denken, te voelen en te handelen. Het is de kern van de menselijke persoonlijkheid. In de religie wordt de geest vaak beschouwd als de verbinding met het goddelijke. Het is de bron van inspiratie en wijsheid. Het is de kracht die ons in staat stelt om te transcenderen en ons te verbinden met iets groter dan ons zelf. Het is de essentie van ons bestaan.

De geest is de kern van de menselijke persoonlijkheid.

De geest is de bron van inspiratie en wijsheid. Het is de kracht die ons in staat stelt om te transcenderen en ons te verbinden met iets groter dan ons zelf. Het is de essentie van ons bestaan.

Uit een aantal metingen is gebleken dat er geen strak verband bestaat tussen het verhang en de stroomsnelheid. Behalve in de Achterhoek werd dit ook in de Lunterse beek geconstateerd (BON, 1967). In fig. 3 zijn van de meetpunten V2 en BV de gemiddelde stroomsnelheden tegen het daarbij waargenomen verhang uitgezet. Hoewel voor deze meetpunten de tendens bestaat dat de stroomsnelheid toeneemt bij grotere verhangen, is er in beide gevallen sprake van een grote spreiding. Over het meetpunt V2 kan worden opgemerkt, dat bij een gelijkblijvend verhang een peilfluctuatie van 90 cm kan optreden en bij gelijkblijvend peil kan het verhang variëren tussen 0,5 en 5,0 cm/100 m, zoals uit fig. 3a blijkt. In fig. 3 is te zien dat bij een gemiddeld verhang van 3 cm/100 m de gemiddelde stroomsnelheid varieert van 10 tot ruim 45 cm/sec. Omgekeerd kan bij een gemiddelde snelheid van 20 cm/sec het verhang variëren van 2 tot ruim 5 cm/100 m. Wordt nu hetzelfde nagegaan voor meetpunt BV van de Baakse beek, dan blijkt dat bij eenzelfde verhang ook hier een peilfluctuatie van  $\pm 90$  cm mogelijk is. Bij gelijkblijvend peil is hier echter de verhangvariatie veel geringer, namelijk van 2,2 tot 3,0 cm/100 m. In fig. 3 worden nu met gemiddelde verhangwaarden van 2,75 cm/100 m stroomsnelheden afgelezen van ruim 30 cm/sec tot 60 cm/sec. Uit het totale cijfermateriaal bleek echter dat bij een gemiddelde stroomsnelheid van 45 cm/sec een variatie in het verhang kan optreden van 2 tot 3 cm/100 m.

Aan de hand van deze metingen blijkt wel dat er de nodige variatie, zowel in verhang als in stroomsnelheid kan optreden, waarbij een en ander niet geheel in overeenstemming met de stromingsformules is. Het niet-stationaire karakter van de optredende stromingen in open leidingen is waarschijnlijk de oorzaak van de gevonden afwijkingen ten opzichte van theoretisch afgeleide formules.

##### 5. De duur van het toppeil bij afvoergolven

Wanneer het beekpeil bij een afvoergolf binnen de insteek blijft, zal bij oplopend peil de drukhoogte toenemen, waardoor de afvoer en de stroomsnelheid eveneens zullen toenemen. De duur dat het toppeil zich dan kan handhaven wordt bij hoog peil korter dan bij lager peil. Dit werd reeds eerder geconstateerd in de Lunterse beek (BON, 1967).

Van verschillende meetpunten in de Achterhoek kon met behulp van registrerende peilmeters de duur van het toppeil worden nagegaan. In de meeste gevallen is de duur van het hoogste peil niet nauwkeurig van de registratiestroken af te lezen, in verband met de langzame stijging van het geregistreeerde





peil bij de top en de schaalverdeling op de stroken. Wordt het peil een halve cm lager afgelezen, dan kan de tijdsduur dat dit peil wordt overschreden nauwkeuriger worden bepaald. Onder de duur van het toppeil wordt nu dan ook verstaan de tijdsduur van het peil dat door het hoogste peil met een halve cm wordt overschreden. In fig. 4 zijn een aantal afvoergolven van het meetpunt V2, als voorbeeld, zodanig getekend, dat de beginpunten van het toppeil ( $-\frac{1}{2}$  cm) op een verticaal zijn gelegen die tevens de hoogte van het peil beneden het meetpunt van de meter aangeeft. Op de horizontaal is de tijd uitgezet. De eindpunten van de topduur zijn met een stip op de afvoerkrommen aangegeven.

Langs deze stippen kan een begrenzingslijn worden getrokken die de maximale duur van het toppeil bij variërende waterhoogten aangeeft. Uit de ligging van deze begrenzingskromme blijkt in dit geval, dat deze tijdsduur zowel bij lage als bij hoge waterstanden toeneemt. Deze tijdstoename bij hogere peilen duidt op een vertraagde of geremde afstroming van grote water-voorraden die bij of bovenstrooms van het meetpunt door reservoirvorming of inundatie zijn ontstaan. Daar ter plaatse van het meetpunt V2 geen overstroming kan optreden, doordat de Veengoot diep door een zandrug is gegraven, is de watervoorraad ontstaan in het reeds eerder genoemde 'Goor'.

Van de andere meetpunten werden soortgelijke begrenzingslijnen als van V2 waargenomen, zoals onder andere van de meetpunten V1 en V4 van de Veengoot en van het meetpunt Y2 in de Grote beek bij Hummelo. In al deze gevallen zijn grote inundaties opgetreden. Deze waren niet opgetreden indien de beken grotere afmetingen hadden gehad. De peilstijging zou dan, afhankelijk van de afvoercapaciteit en de afmetingen van het dwarsprofiel misschien wel hoger zijn geweest dan nu het geval is met inundaties, doch de daling van het toppeil was dan ook sneller verlopen.

De minimum en maximum tijden van de begrenzingskrommen zijn voor het meetpunt V1  $2\frac{1}{2}$  en  $3\frac{1}{2}$  uur, voor het meetpunt V4 13 en 18 uur en voor Y2 7 en  $13\frac{1}{2}$  uur.

Een voorbeeld van een beek met een grote afvoercapaciteit is de Aaltense Slinge op het meetpunt A5 (4900 ha) bij de Duitse grens. De beek ligt diep in een v-vormig dal. In fig. 5 is langs de punten die de topduren aangeven de begrenzingslijn getrokken en uitgezet tegen de N. A. P. -hoogte van het peil. Het blijkt dat het beekwater lang binnen de steile kanten blijft. Slechts bij zeer hoge, zeldzaam voorkomende peilen worden kleine stukken aanliggend land overstroomd, doch dit water is na korte tijd weer verdwenen door de grote afvoercapaciteit, het grote verhang in de waterspiegel en de hellende

de... (The text is extremely faint and largely illegible, appearing to be a list of names or a directory.)

de... (This section contains a few more lines of faint text, possibly a continuation of the list or a separate entry.)

aangrenzende percelen. Deze geringe overstromingen uiteten zich doordat bij een peil van 40,30 m N. A. P. de tijdsduur van de toppen slechts langzaam toenemen tot een half uur.

Heeft men gebieden met grote inundaties zoals in de Baakse beek tussen de meetpunten BI (de Wierse) en BV (Wientjesvoort), dan blijken de begrenziingslijnen van de topduur zeer sterk gekromd te worden (zie fig. 6).

Van de vijf meetpunten zijn de begrenziingslijnen in één figuur tegen de hoogte van de waterspiegel uitgezet. De vernauwingen onder de bruggen in de opgehoogde wegen, die dit brede vrij vlakke dal van de Baakse beek kruisen, vertragen zeer sterk de hoogwater afvoer.

Bij het meetpunt BIV werd waargenomen, dat het aanliggende land bij een peil van 11,85 m N. A. P. via een zijslot begon te inunderen. Dit peil ligt juist in het buigpunt van de begrenziingslijn van de topduur van dit meetpunt. Door de beekpeilen van de vijf meetpunten die op hetzelfde tijdstip werden geregistreerd tegen elkaar uit te zetten, werden rechtlijnige verbanden gevonden. Hierdoor was het mogelijk na te gaan bij welk peil van de andere meters het inundatiepeil van het meetpunt BIV overeenstemde. Deze peilen lagen nu allen in de buigpunten van de begrenziingslijnen van de topduur. Aangenomen mag worden dat op het moment dat deze bepaalde peilen bij de andere meetpunten worden bereikt, ook inundatie via zijsloten begon op te treden.

De tijdsduur van de toppen in dit gedeelte van de Baakse beek varieert van 5 uur als minimumwaarde volgens de begrenziingslijn uit fig. 6, tot ruim 25 uur bij hoge peilen. Om echter een idee te krijgen hoe lang een afvoergolf boven het inundatiepeil blijft, werd nagegaan hoe groot het debiet ongeveer was op het moment dat de inundatie begint op te treden. Voor het meetpunt BI (de Wierse) bleek dit bij een afvoer van ongeveer  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  te liggen. Even boven dit I. C. W. -meetpunt heeft de Rijkswaterstaat sinds 1950 dagelijkse afvoeren berekend uit peilwaarnemingen. Hierdoor werd het mogelijk na te gaan hoeveel dagen per jaar het inundatiepeil werd overschreden. Dit wil niet zeggen dat indien tijdens langdurige hoogwaterperioden het beekpeil een enkele of twee dagen beneden het inundatiepeil daalde, het aanliggende land dan is drooggevallen.

In onderstaande tabel is nu per winter het aantal dagen aangegeven, dat het inundatiepeil en een afvoer van  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  op BI werd overschreden.

... in de eerste plaats de ...

... de tweede plaats de ...

... de derde plaats de ...

... de vierde plaats de ...

Tabel 2. Overschrijdingstijd van het inundatiepeil in dagen in de Baakse beek op het meetpunt de Wierse bij een afvoer van meer dan  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  of  $3,47 \text{ mm/d}$

winter	d. d.	aantal dagen	winter	d. d.	aantal dagen
'50/'51	29/11 - 4/12	6	'59/'60	-	0
	11/12 - 17/12	6	'60/'61	1/11 - 6/11	5
	6/1 - 8/1	2		25/22 - 1/12	6
	11/1 - 24/1	13		3/12 - 12/12	9
	8/2 - 25/1	7		29/12 - 3/2	5
		<u>34</u>		7/2 - 8/2	1
'51/'52	2/1 - 5/1	3		11/2 - 14/2	3
	10/1 - 13/1	3		27/2 - 2/3	3
	18/1 - 20/1	2			<u>32</u>
	31/1 - 1/2	1	'61/'62	27/11 - 29/11	2
		<u>9</u>		30/11 - 8/12	9
'52/'53	18/12 - 19/12	1		10/12 - 17/12	7
	20/12 - 21/12	2		31/12 - 2/1	2
	24/12 - 26/12	2		10/1 - 15/1	5
	2/2 - 4/2	2		16/1 - 18/1	2
	10/2 - 13/2	3		21/1 - 28/1	7
		<u>10</u>		5/2 - 9/2	4
'53/'54	4/3 - 6/3	2		12/2 - 18/2	6
		<u>2</u>			<u>44</u>
'54/'55	7/10 - 10/10	3	'62/'63	8/3 - 10/3	2
	7/11 - 13/11	5		11/3 - 15/3	4
	6/12 - 7/12	1		18/3 - 20/3	2
	9/12 - 10/12	1			<u>8</u>
	16/12 - 17/12	1	'63/'64	18/11 - 23/11	5
	23/12 - 28/12	5			<u>5</u>
	16/1 - 19/1	3	'64/'65	31/12 - 2/1	2
	22/1 - 23/1	2		8/1 - 12/1	4
	4/2 - 7/2	3		17/1 - 19/1	2
		<u>24</u>			<u>8</u>
'55/'56	22/1 - 25/1	3	'65/'66	27/11 - 28/12	31
	27/1 - 29/1	2		1/1 - 6/1	5
	1/3 - 2/3	1		6/2 - 19/2	7
	3/3 - 8/3	5		20/2 - 22/2	2
		<u>11</u>		28/3 - 1/4	4
'56/'57	7/1 - 8/1	1			<u>49</u>
	12/2 - 17/2	5	'66/'67	16/11 - 26/11	10
	21/2 - 26/2	5		27/11 - 6/12	9
	16/3 - 21/3	5		9/12 - 28/12	19
		<u>16</u>		30/12 - 6/1	7
'57/'58	1/1 - 3/1	2		1/3 - 2/3	1
	5/1 - 13/1	8			<u>46</u>
	24/2 - 27/2	3			
		<u>13</u>			
'58/'59	29/12 - 30/12	1			
	2/1 - 5/1	3			
	6/1 - 10/1	4			
	19/1 - 21/1	2			
		<u>10</u>			

Table 1. The results of the analysis of variance for the different groups of horses (see Table 1 for details). The values are the means and standard deviations of the different groups.

Group	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
0	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
1	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
2	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
3	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
4	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
5	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
6	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
7	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
8	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
9	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
12	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
13	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
14	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
15	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
16	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
17	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
18	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
19	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
20	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
21	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
22	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
23	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
24	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
25	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
26	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
27	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
28	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
29	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
30	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
31	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
32	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
33	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
34	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
35	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
36	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
37	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
38	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
39	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
40	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
41	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
42	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
43	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
44	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
45	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
46	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
47	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
48	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
49	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
50	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
51	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
52	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
53	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
54	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
55	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
56	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
57	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
58	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
59	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
60	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
61	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
62	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
63	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
64	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
65	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
66	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
67	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
68	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
69	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
70	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
71	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
72	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
73	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
74	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
75	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
76	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
77	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
78	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
79	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
80	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
81	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
82	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
83	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
84	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
85	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
86	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
87	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
88	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
89	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
90	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
91	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
92	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
93	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
94	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
95	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
96	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
97	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
98	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
99	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
100	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00

In de zomermaanden worden deze afvoeren van  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  niet bereikt. Wel zijn in de extreem natte zomers van 1965 en 1966 afvoeren gemeten die een enkele maal bijna de  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  haalden.

Zowel uit de waarnemingen van de Baakse beek als die van de andere meetpunten, blijkt de afvoercapaciteit van de beken en sloten over het algemeen te klein te zijn om inundaties te voorkomen.

## 5. Samenvatting

Het onderzoek naar de stromingsverschijnselen in beken (flood routing) heeft plaats gevonden in de Gelderse Achterhoek.

Bij het nagaan welke stromingsverschijnselen optreden bij het verplaatsen van een afvoergolf door een beek blijkt, dat aan de randen van een hellend stroomgebied waar de leidingen betrekkelijk klein van afmetingen zijn, het overtollige regenwater snel in de leidingen peilstijgingen veroorzaken, die na het einde van de regen ook weer snel zijn verdwenen.

Hoe groter de afstand van de rand van het stroomgebied wordt tot een lager gelegen punt in de hoofdleiding, des te later treedt het hoogste peil op. Door allerlei oorzaken wordt de top afgevlakt zoals: door de toenemende weerstanden met de toenemende lengte van de beek en door het niet gelijktijdig in de beek uitstromen van water uit de zijleidingen. Ook de grotere afmetingen van de beek op benedenstrooms gelegen punten beïnvloeden de stijghoogte en de vervorming van de zich naar beneden verplaatsende golftop.

Door dit niet overal gelijktijdig optreden van een golftop in een leiding ontstaan verhang- en stroomsnelheidsverschillen, die zowel over korte als over lange afstanden niet constant zijn. Ook bij een bepaald peil zijn deze verhangen en stroomsnelheden niet constant. De variaties kunnen soms vrij aanzienlijk zijn. De variaties zijn niet voor elk meetpunt gelijk en kunnen soms tegengesteld zijn.

Uit de duur van de geregistreerde afvoertoppen kan van een bepaald meetpunt worden nagegaan of de beek bij hoge afvoeren binnen zijn boorden blijft of dat er grote watervorraden in de leidingen of op het land worden geborgen. Treden inundaties op, dan neemt de tijdsduur van het toppeil toe. Een voorbeeld wordt gegeven welke afvoer bij het inundatiepeil van de Baakse beek optreedt en hoeveel dagen dat peil gedurende de winters van 1950 tot 1967 wordt overschreden.

1) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

2) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

3) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

Bijlage

De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

1) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

2) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

3) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

4) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

5) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

6) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

7) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

8) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

9) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:

10) De Gemeente heeft de beschikking over de volgende gebouwen:



Literatuur

- BAUCH, W. 1968. Die Hochwasserwelle in gestauten und ungestauten Fluss.  
Die Wasserwirtschaft 1/68.
- BON, J. 1967. Afvoer en berging in verband met beekverbeteringen, toegelicht aan het stroomgebied van de Lunterse beek. V. L. O. no. 701, Pudoc, Wageningen. Mededelingen I. C. W. no. 107.
- GRAY, Don. M. 1962. Derivation of hydrographs for small watersheds from measurable physical characteristics. Amer. Iowa State Univ. of Science and Technology; Agric. and home econ. exp. station. Res. bull. 506.
- HENDERSON, F. M. 1966. Open channel flow. MacMillan Comp. New York.
- HUMBERT, H. 1967. Verhangvariaties in beken. I. C. W. nota 415.
- JAGER, A. W. DE. 1965. Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Diss. Pudoc, Wageningen.
- VEN TE CHOW. 1959. Open channel hydraulics. MacGraw-Hill book comp. New York.
- VISSER, W. C. 1965. Zelfregistrerende waterstandsmeter voor wisselende meetopdrachten. I. C. W. nota 309.
- WISLER, C. O. and E. F. BRATER. 1956. Hydrology. John Wiley and Son, London, Chapman and Hall.

1908, De Honning, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1908, p. 100.

Die Wäse, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1908, p. 100.

1909, A. V. A. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1909, p. 100.

1910, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1910, p. 100.

1911, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1911, p. 100.

1912, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1912, p. 100.

1913, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1913, p. 100.

1914, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1914, p. 100.

1915, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1915, p. 100.

1916, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1916, p. 100.

1917, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1917, p. 100.

1918, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1918, p. 100.

1919, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1919, p. 100.

1920, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1920, p. 100.

1921, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1921, p. 100.

1922, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1922, p. 100.

1923, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1923, p. 100.

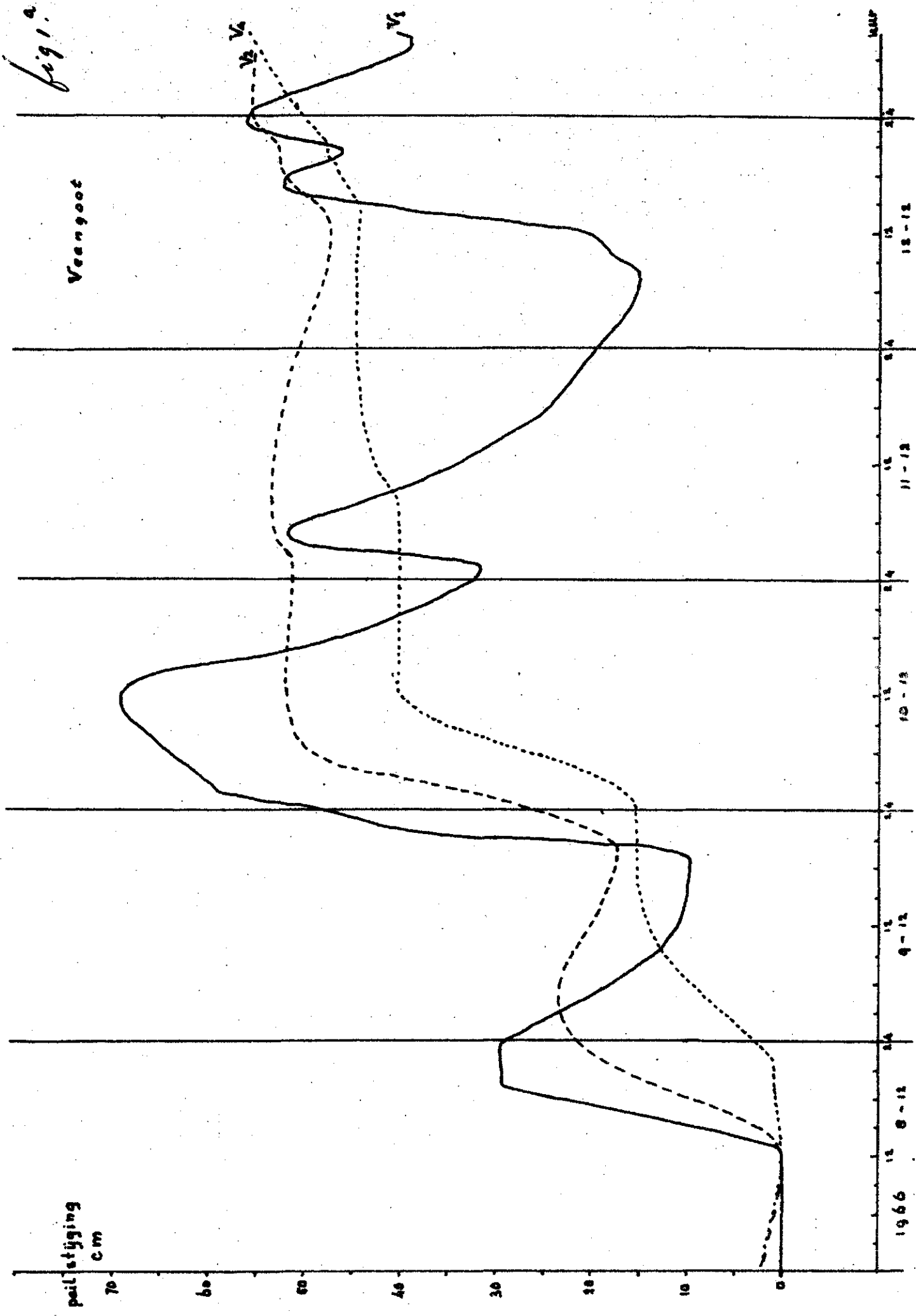
1924, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1924, p. 100.

1925, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 1925, p. 100.

London, Chapman and Hall.

fig. 1 a

Veengoot



peilstijging  
cm

1966 12 8-12 9-12 10-12 11-12 12-12 13-12 14-12 15-12 16-12 17-12 18-12 19-12 20-12 21-12 22-12 23-12 24-12

Fig. 6

Baekse beek

meetpunt  
I de Marsse  
II  
III  
IV  
V Wierstsevaart

peilstijging  
C.M.

50  
40  
30  
20  
10  
0

1966 19-12  
20-12  
21-12  
22-12  
Mur

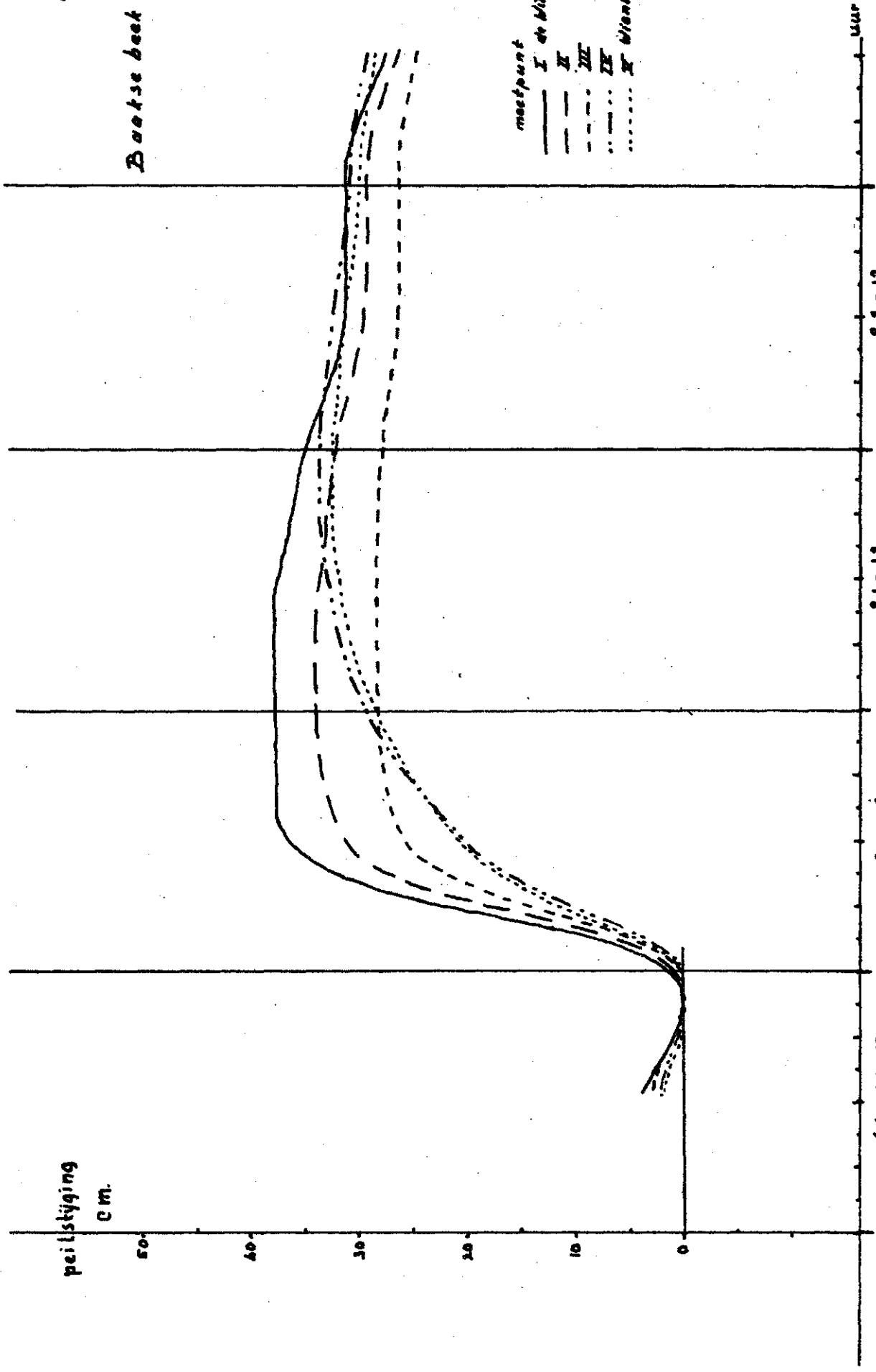


fig 2

m. NAP V2

1910

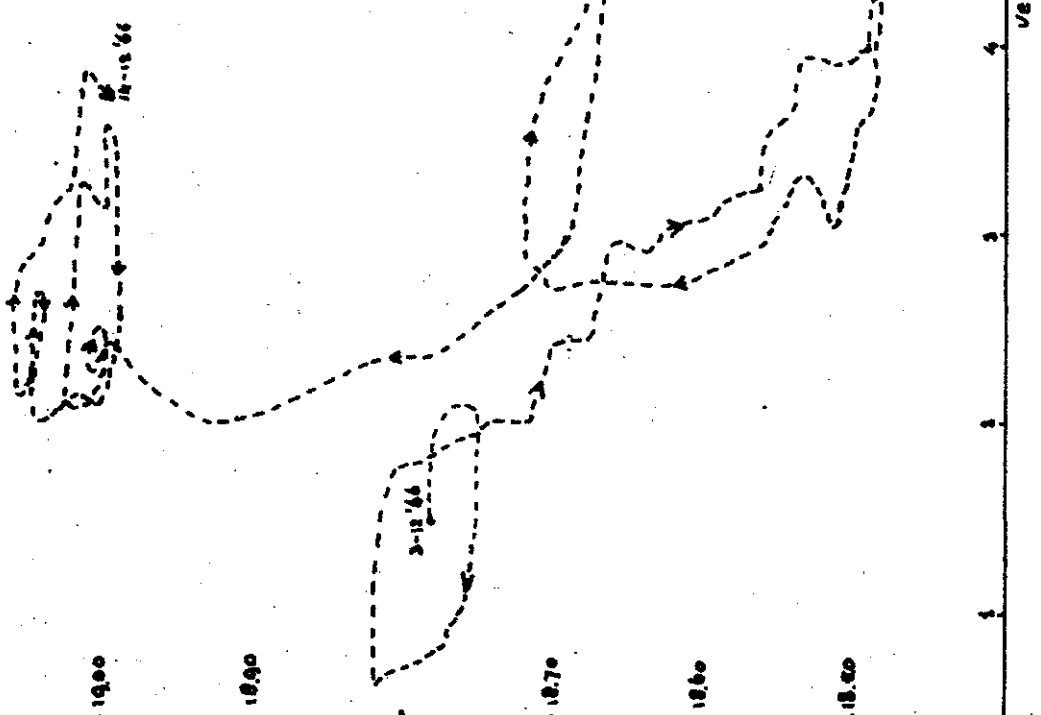
1900

1890

1870

1860

1850



m. NAP B III

1260

1240

1220

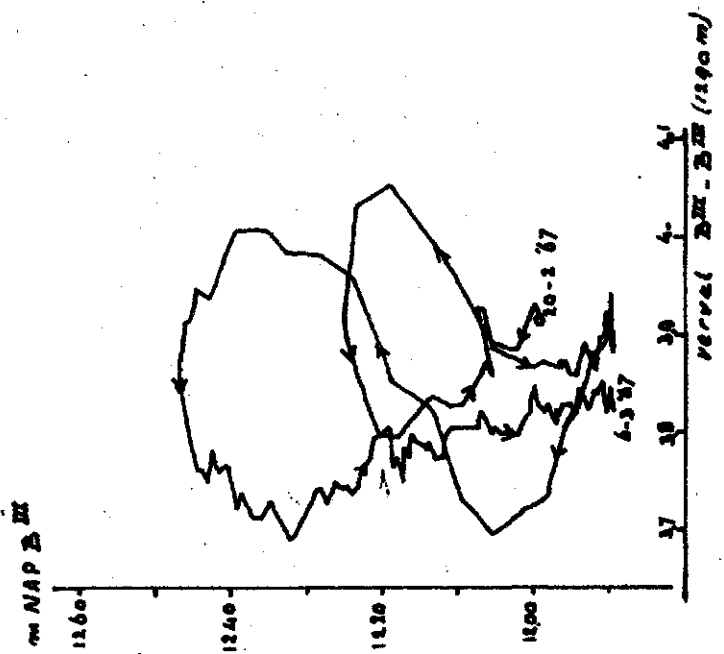
1200

12

13

14

15



m. NAP B I

1180

1160

1140

1120

1

2

3

4

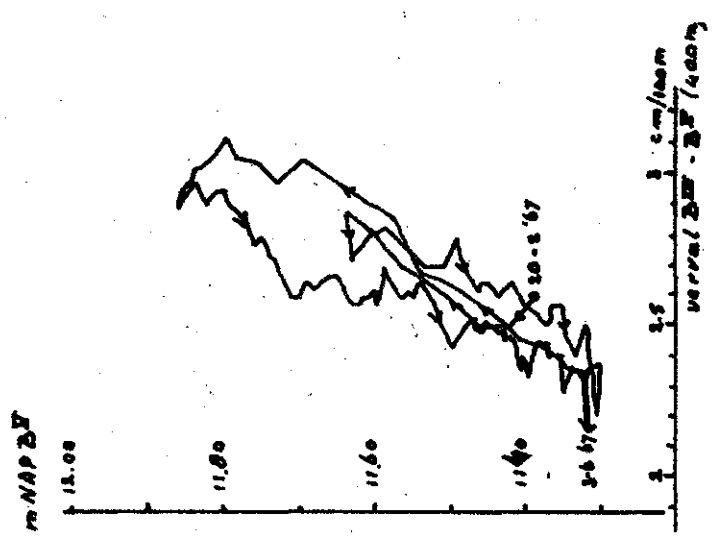


fig 3

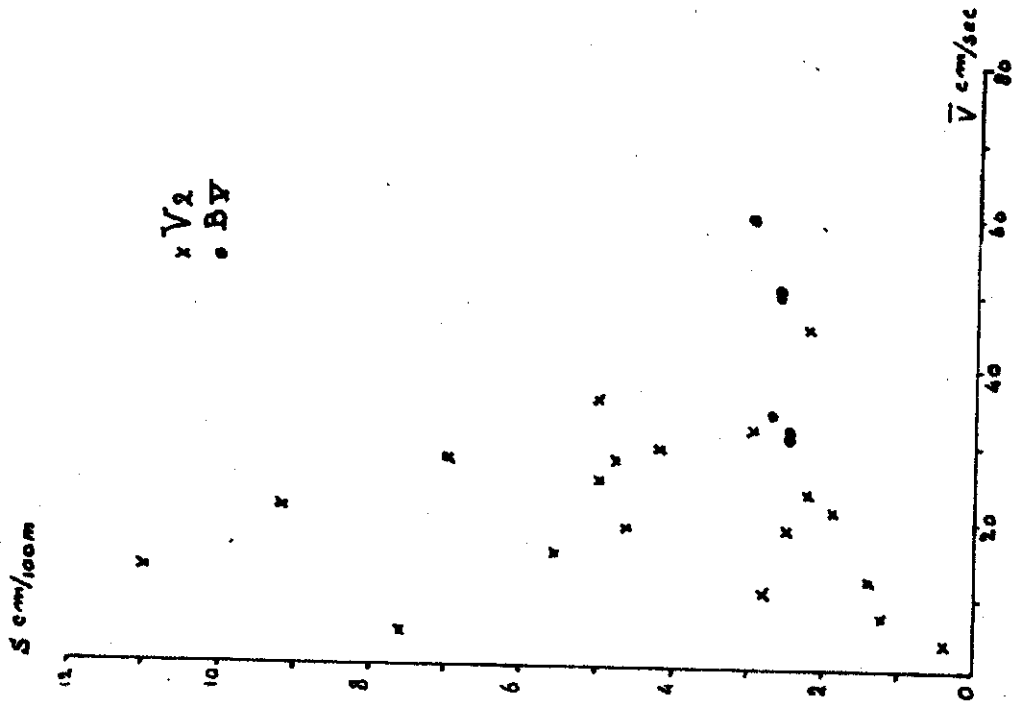


fig 4

hoogte in cm  
begin toppail - meetpunt

V2

waterhoogte  
cm - meetpunt

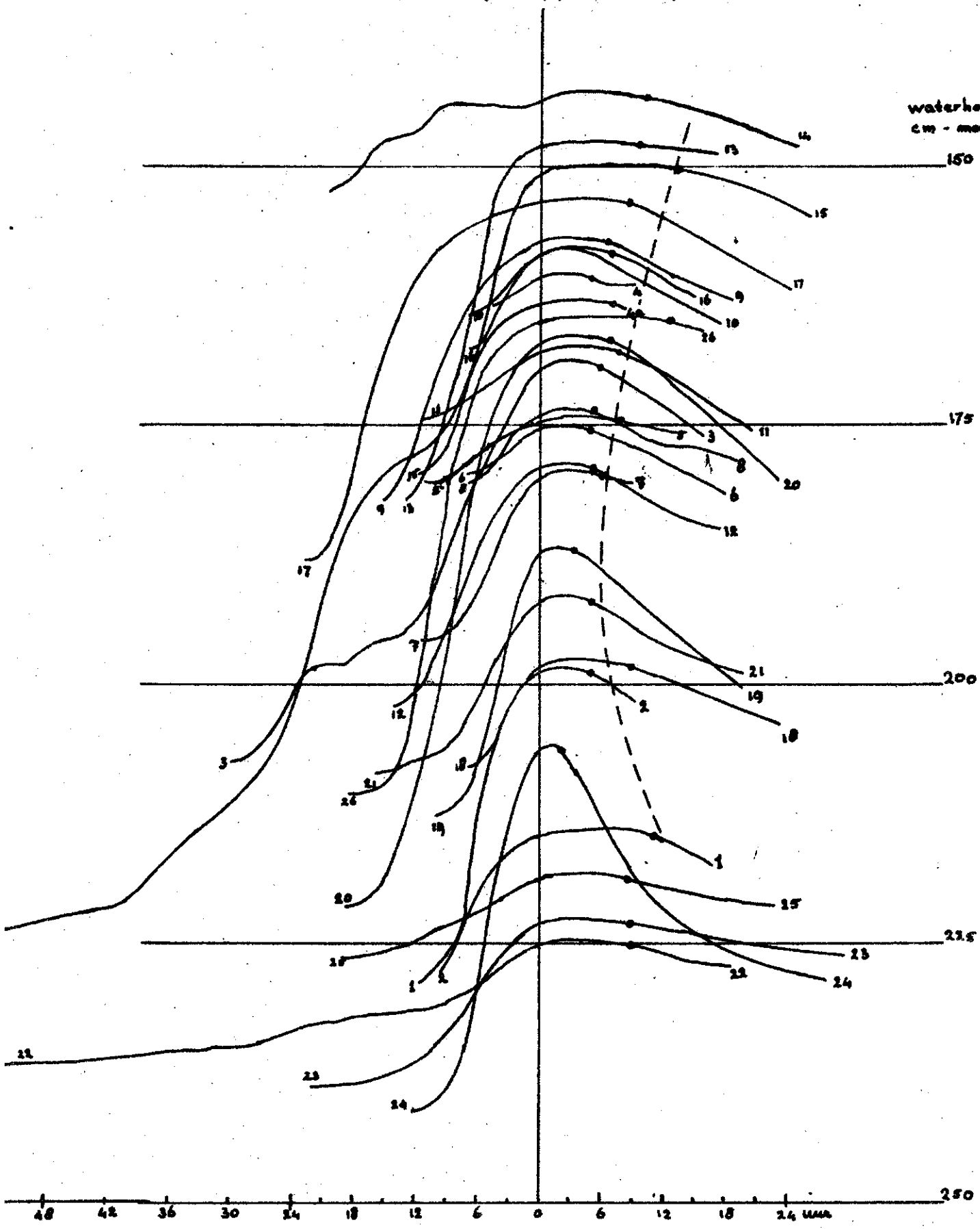


fig 5

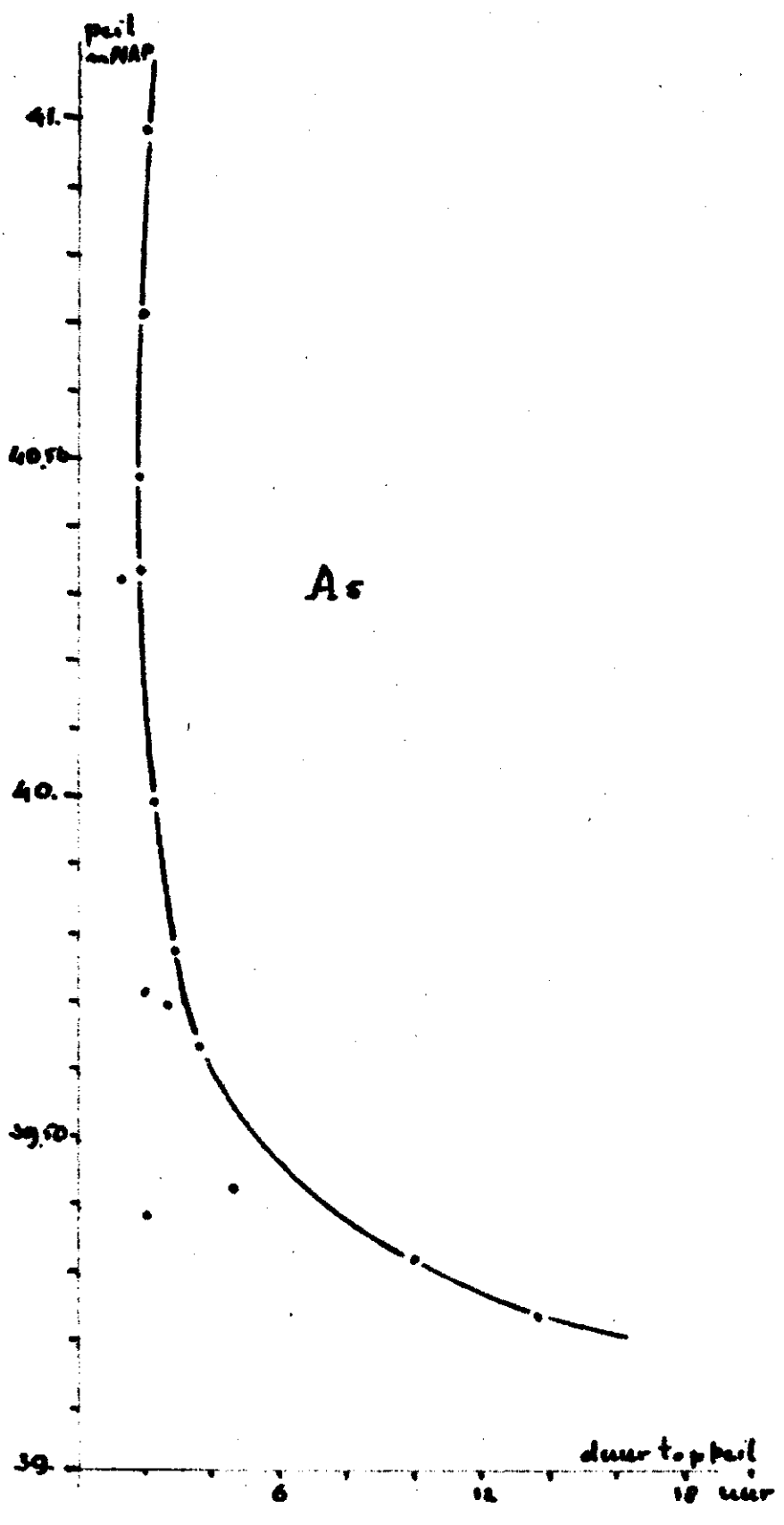




fig 6

