COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO 2

VERSLAGEN VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN 7-10

EN VERSLAG INZAKE HET VERDAMPINGSONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER OVER DE JAREN 1947-1952

NEDERLANDSE CENTRALE ORGANISATIE
VOOR TOEGEPAST-NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO 2

VERSLAGEN TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN 7-10

EN

VERSLAG INZAKE HET VERDAMPINGSONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER (1947-1952)

STAATSDRUKKERIJ UITGEVERIJBEDRIJF

VERSL. MED. COMM. HYDR. ONDERZ. T.N.O. No 2 - 'S-GRAVENHAGE - 1955

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

PROCEEDINGS AND INFORMATIONS NO 2

PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL MEETINGS 7-10

AND

REPORT ON THE EVAPORATION RESEARCH IN THE ROTTEGATSPOLDER (1947-1952)

With summaries in English

THE NETHERLANDS CENTRAL NATIONAL COUNCIL FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH

SECTION T.N.O. DES RECHERCHES HYDROLOGIQUES

COMPTES-RENDUS ET COMMUNICATIONS NO 2

COMPTES-RENDUS DES SESSIONS TECHNIQUES 7-10

ET

RAPPORT CONCERNANT LES RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DANS LE ROTTEGATSPOLDER (1947-1952)

Avec des résumés en français

ORGANISATION CENTRALE NÉERLANDAISE POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE APPLIQUÉE

INHOUD

Blz.

WOORD VOORAF 9

Zevende Technische Bijeenkomst op 23 November 1950

I. BEWERKING VAN REGENWAARNEMINGSCIJFERS 11

1. Algemene beschouwingen over de neerslag, L. J. L. DEIJ 13
2. Toepassing van de „Theorie der Extreme Waarden" op de berekening van de frequentie van extreme hoeveelheden in regens van verschillende duren, C. LEVERT 20
3. Droogteperioden, G. A. LENSTRA 34
4. Het werken met frequentieverdelingen, B. VISSER 41
5. Een nomogram voor de kansverdeling van de regenval, W. C. VISSER 51

Achtste Technische Bijeenkomst op 13 December 1951

II. MODELONDERZOEK VAN GRONDWATERSTROMINGEN 69

1. Inleidende beschouwing over modelonderzoek van grondwaterstromingen, W. R. VAN WIJK 71
2. Grondwaterstromingsproblemen in de landbouw; methoden van onderzoek, S. B. HOOGHOUDT (†) 75
3. Onderzoek van grondwaterstromen aan twee- en drie-dimensionale grondmodellen, J. TH. THIJSSE 81
4. De betekenis van het modelonderzoek van grondwaterstromingen voor de grondmechanica, E. C. W. A. GEUZE 82
5. Spleetmodellen, G. SANTING 84
6. Een warmtemodel voor grondwaterstroming, H. KUIPERS 92
7. Electrisch onderzoek van het stromingsveld van grondwaterstromen, C. G. J. VREEDENBURGH 98
8. Samenvatting en conclusies, W. R. VAN WIJK 100

Blz.

Negende Technische Bijeenkomst op 12 December 1952

III. METINGEN EN VERBETERINGEN IN HET STROOMGEBIED VAN BEKEN 103

1. Inleiding, F. VOLKER 105
2. Meten van waterstanden en afvoeren in kleine waterlopen, P. J. WEMELSFELDER 109
3. De afvoer van de kleine rivieren in Nederland, J. H. M. LATOUR . . . 128
4. De betekenis van debietmetingen in beken voor landverbeteringswerken, W. C. VISSER 147

Tiende Technische Bijeenkomst op 20 Januari 1954

IV. GEO-ELECTRISCH BODEMONDERZOEK 159

1. Opening, P. BRUIN 161
2. Inleiding, A. VOLKER 162
3. Beginselen en mogelijkheden van de weerstandsmethode, B. BAARS . 165
4. Neuere Ergebnisse hydrogeo-elektrischer Arbeiten in Deutschland, F. HALLENBACH 176
5. Bepaling van de zoutgehalten van het diepe grondwater in het plistocene lagenpakket onder de IJsselmeerbodem volgens de geo-electrische methode, E. O. HOUTSMA 179
6. Verdere toepassingsmogelijkheden voor de geo-electrische methode in Nederland, J. H. BELTMAN 195

Verslag van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek

V. HET VERDAMPINGSONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER GEDURENDE DE JAREN 1947 T/M 1952, L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR, P. K. PEERLKAMP en A. H. STAM 209

CONTENTS, PREFACE AND SUMMARIES 255

TABLE DES MATIÈRES, AVANT-PROPOS ET RÉSUMÉS 277

FUNCTIES VAN DE INLEIDERS TEN TIJDE VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN

Dr B. BAARS	Geophysicus bij de Geologische Afdeling van de Bataafsche Petroleum Maatschappij N.V., 's-Gravenhage.
Ir J. H. BELTMAN	Conservator van het Archief van Grondwaterstanden T.N.O., 's-Gravenhage.
Dr L. J. L. DEIJ	Directeur der Derde Afdeling van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.
Ir G. P. FELIUS	Ingenieur bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
Prof. Ir E. C. W. A. GEUZE	Directeur van het Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
Dr F. HALLENBACH	Hoofd van de Geophysische Afdeling van het Amt für Bodenforschung, Hannover.
Dr S. B. HOOGHOUDT	Wetenschappelijk Hoofdambtenaar bij het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen.
Ir E. O. HOUTSMA	Adjunct-Ingenieur bij de Dienst der Zuiderzeewerken, 's-Gravenhage.
Prof. W. F. J. M. KRUL	Directeur van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en Voorzitter van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's-Gravenhage.
Ir H. KUIPERS	Assistent Laboratorium voor Natuurkunde van de Landbouwhogeschool, Wageningen.
Ir J. H. M. LATOUR	Hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in de Directie Algemene Dienst, 's-Gravenhage.
Drs G. A. LENSTRA	Wetenschappelijk Medewerker bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Schiphol.
Dr G. LEVERT	Wetenschappelijk Medewerker eerste klasse bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.
Dr P. K. PEERLKAMP	Wetenschappelijk Hoofdambtenaar bij het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen
Ir G. SANTING	Ingenieur bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en Technisch Secretaris van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's-Gravenhage.
Ir A. H. STAM	Hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in de Directie Algemene Dienst, 's-Gravenhage.
Prof. Ir J. TH. THIJSSE	Directeur van het Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
Dr Ir B. VISSER	Ingenieur eerste klasse bij de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland, 's-Gravenhage.
Ir W. C. VISSER	Hoofd van de Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
Ir A. VOLKER	Hoofdingenieur bij de Dienst der Zuiderzeewerken, 's-Gravenhage.
Ir F. VOLKER	Hoofdingenieur-Directeur van de Rijkswaterstaat in de Directie Algemene Dienst, 's-Gravenhage.
Prof. Ir C. G. J. VREEDENBURGH	Hoogleraar aan de Technische Hogeschool, Delft.
Ir P. J. WEMELSFELDER	Hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in de Directie Algemene Dienst, 's-Gravenhage.
Prof. Dr W. R. VAN WIJK	Hoogleraar aan de Landbouwhogeschool, Wageningen.

WOORD VOORAF

Drie jaren zijn verlopen sinds het verschijnen van het eerste verslag van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O.

In deze periode is de noodzakelijkheid van een integrale regeling van de waterhuishouding, ook in een land als Nederland, waar schijnbaar water in overvloed beschikbaar is, nog weer sterker naar voren gekomen.

De toenemende bevolkingsdichtheid toch en de steeds grotere waterbehoefte voor intensieve landbouw en industriële productie enerzijds en de toenemende verontreiniging van het beschikbare water anderzijds, zowel ten gevolge van de industrie en de lozing van huishoudelijk afvalwater alsook van de toenemende verzouting in een laaggelegen gebied nabij de zee, maken het noodzakelijk, de beschikbare watervoorraden zo nuttig mogelijk te gebruiken.

Het is duidelijk, dat alleen een nauwe samenwerking van allen, die zich met de studie van het water in de verschillende phasen van zijn kringloop bezighouden, tot verantwoorde oplossingen voor een streek, voor een land, kan voeren.

In vele landen der wereld is een soortgelijke situatie voorhanden. Duidelijk bleek dit bij het in 1954 te Rome gehouden Congres van de Internationale Geodetische en Geophysische Unie *(Union Géodésique et Géophysique - U.G.G.I.)*

De in Nederland bestaande samenwerking in de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. beantwoordt aan de op dit laatste Congres weder tot uiting gekomen behoefte.

De onderhavige publicatie geeft een verslag van de in de jaren 1950–1954 gehouden „technische bijeenkomsten", waarin deskundigen van de verschillende in de Commissie vertegenwoordigde lichamen bepaalde onderwerpen behandelen. Vaak geven deze bijeenkomsten aanleiding tot nadere studie in onderling verband. Zo werden werkgroepen ingesteld voor de bewerking van regenwaarnemingscijfers en voor het geoelectrisch bodemonderzoek, naast de reeds bestaande werkgroep voor de lysimeterwaarnemingen in Nederland en het Archief voor Grondwaterstanden T.N.O.

Bovendien is in deze tweede publicatie der Commissie opgenomen een rapport van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek, van grote betekenis voor de hydrologie van Nederland. Het ligt in de bedoeling, in deze serie van „Verslagen en Mededelingen" in de toekomst ook andere verslagen van onderzoekingen op te nemen.

Met groot leedwezen moet hier melding worden gemaakt van het overlijden, op 30 Augustus 1953, van Dr S. B. HOOGHOUDT, in leven Wetenschappelijk Hoofdambtenaar bij het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen. Hij was een der belangrijkste figuren in het wetenschappelijk hydrologisch onderzoek, in het bijzonder op het gebied van de Landbouw. Zijn verscheiden wordt in de Commissie diep betreurd.

Met erkentelijkheid zij vermeld, dat de bewerking van deze publicatie op verdienstelijke wijze geschiedde door Dr R. WIND, die als deskundige verbonden is aan de „Werkgroep Lysimeters".

Tevens past een woord van dank aan de Nederlandsche Centrale Organisatie T.N.O. voor de grote steun, die zij aan het werk der Hydrologische Commissie en aan de uitgave van deze publicatie heeft verleend.

Moge deze tweede publicatie van de Commissie gelijke belangstelling in binnen- en buitenland ondervinden als haar voorgangster.

's-Gravenhage, October 1955

Prof. W. F. J. M. KRUL

Voorzitter van de
Commissie voor Hydrologisch
Onderzoek T.N.O.

Zevende Technische Bijeenkomst

op 23 November 1950

I. BEWERKING VAN REGENWAARNEMINGSCIJFERS

I. ALGEMENE BESCHOUWINGEN OVER DE NEERSLAG

L. J. L. DEIJ

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt

1. Aanleiding

Toen Prof. Krul als voorzitter van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. mij ter gelegenheid van een harer bijeenkomsten verzocht een „Regendag" te willen organiseren, heb ik aan dit verzoek gaarne voldaan.

Aanleiding daartoe was de vraag, die bij mij was gerezen, nl. welke wensen bestaan er bij hen die gebruik maken van de door het K.N.M.I. verzamelde neerslaggegevens ten aanzien van de bewerking daarvan, hetzij ten behoeve van theoretische studies, hetzij voor de oplossing van practische vraagstukken. Daarbij dacht ik aan het feit, dat door het K.N.M.I. een uitgebreide statistische bewerking werd ondernomen van de te De Bilt met de pluviograaf geregistreerde neerslaghoeveelheden en voorts aan de plannen om al het klimatologische waarnemingsmateriaal met inbegrip van de neerslagwaarnemingen op ponskaarten te brengen.

2. Betekenis

Over de grote betekenis van een nauwkeurige kennis van de regenval behoeft in deze kring nauwelijks te worden uitgeweid. Wij hebben er allen vrijwel dagelijks op enigerlei wijze mee te maken. Er zijn echter tal van kanten aan te onderscheiden waarvoor wij, al naar gelang van ons beroep, meer of minder grote belangstelling hebben. De meteoroloog interesseert zich allereerst voor de natuurkundige processen volgens welke het verschijnsel van de neerslag tot stand komt, de klimatoloog voor de verdeling van de neerslag op aarde naar plaats en tijd, de hydroloog staat voor de vraag hoe het neerslagwater zich ondergronds beweegt. Tussen de hydroloog en de meteoroloog kan men zich de hydrometeoroloog geplaatst denken, voor wie vragen betreffende waterhuishouding, bodemvochtigheid, verdamping e.d. van betekenis zijn. Naast de theoretici staan dan nog de talrijke practici uit de kringen van waterstaat, verkeerswezen, bouwwezen, land-, tuin- en bosbouw, watervoorziening voor bevolking en industrie, energie-opwekking enz. voor wie kennis van de neerslag al even onontbeerlijk is.

Bij vele technische problemen gaat het om de vraag hoeveel neerslag men mag verwachten, resp. hoeveel men maximaal mag verwachten in een willekeurig gegeven tijdvak. De lengte van dat tijdvak wordt bepaald door de aard van het probleem. Bij rioleringsvraagstukken gaat het vaak om maximale hoeveelheden gedurende enkele minuten, bij waterafvoeren van polders over enkele dagen, kansen op droogteperioden hebben betrekking op enkele weken, de waterhuishouding van grote gebieden wordt beheerst door tijdvakken van maanden. In al deze gevallen gaat het om vragen waarop gemeenlijk het antwoord gegeven kan worden met behulp van de statistiek.

3. Methoden

Gaat het evenwel om de vraag of het in een bepaald gegeven tijdvak al of niet zal regenen en hoeveel, gaat het dus om een verwachting, dan kan men zich bedienen van de synoptisch-meteorologische methode, zoals die door de weerdienst van het K.N.M.I. voor de eerstkomende 36 uren wordt toegepast, resp. van de statistisch-klimatologische methode, indien het verder in de toekomst gelegen tijdvakken geldt.

De synoptisch-meteorologische methode is gebaseerd op een physische analyse van de weersgesteldheid in de zo juist achter ons gelegen uren en geeft door extrapolatie een verwachting voor de eerstkomende uren met een grote trefzekerheid. Voorspellingen van te verwachten hoeveelheden neerslag zijn echter tot op heden niet gelukt. Regenverwachtingen blijven dus voorlopig nog in kwalitatieve termen gesteld: „enige regen", „lichte regen", „buien" enz.

De statistisch-klimatologische methode tracht een correlatief verband te leggen tussen de weersfactoren ter plaatse en weersfactoren elders in het verleden om op grond daarvan voorspellingen voor de toekomst te kunnen maken. Deze methode, die eveneens slechts kwalitatieve resultaten geeft in de vorm van afwijkingen van langjarige gemiddelden, is voor Nederland met wisselend welslagen door Prof. S. W. Visser toegepast. Voortgezette onderzoekingen hebben het waarschijnlijk gemaakt, dat groter succes verkregen zal worden door een synthese van de synoptisch-meteorologische methode met de statistisch-klimatologische. Mogelijk dat we in de naaste toekomst daarvan het resultaat zullen zien in de vorm van 5- tot 10-daagse verwachtingen.

De hoofdschotel, die vandaag zal worden opgediend, is samengesteld uit de voordrachten van de heren Dr Levert, Dr Visser en Ir Visser, die ons de toepassingsmogelijkheden zullen laten zien van de statistische methoden, met als tegenhanger de voordracht van de heer Lenstra waaruit wij leren hoe de synoptisch-meteorologische beschouwingswijze kan worden toegepast op het vraagstuk van droogteperioden. Ik heb gemeend dat aan deze schotel een voorspijs diende vooraf te gaan in de vorm van meer algemene beschouwingen, waarbij het neerslagverschijnsel uit de meteorologisch-klimatologische gezichtshoek wordt bekeken.

4. De physica van de neerslagvorming

Gaan wij allereerst na onder welke omstandigheden neerslag wordt gevormd.

Wanneer waterdamphoudende lucht voldoende wordt afgekoeld, treedt bij een bepaalde temperatuur, het dauwpunt geheten, condensatie op als een verzameling van zeer fijne druppeltjes met diameters van de orde van 10 à 40 μ. Deze hebben zo'n geringe valsnelheid, dat zij nagenoeg in de atmosfeer blijven zweven. Nu kan een druppeltje als zodanig alleen dan blijven bestaan, indien de dampspanning aan zijn oppervlak gelijk is aan de bijbehorende verzadigingsdruk en deze is, vergeleken met de verzadigingsdruk aan een plat wateroppervlak, des te groter naarmate het druppeltje kleiner is. Zeer kleine druppeltjes kunnen dus alleen bestaan in een waterdamphoudende atmosfeer die sterk oververzadigd is, d.w.z. bij relatieve vochtigheden die

ver boven 100 % reiken. Onder natuurlijke omstandigheden zullen deze druppeltjes snel verdampen.

Echter hebben experimenten aangetoond, dat condensatie niet optreedt wanneer lucht vooraf van alle onzuiverheden is gereinigd. In de atmosfeer komen blijkbaar talloze kleine deeltjes voor, die als condensatiekernen dienst doen. Het zijn merendeels hygroscopische stoffen die, in water opgelost, een verlaging van de evenwichtsdampdruk veroorzaken en dientengevolge de verhoging van de dampspanning ten gevolge van de kromming gedeeltelijk compenseren. Druppelvorming kan dan in de vrije atmosfeer bij geringe oververzadiging plaats vinden.

Bij temperaturen beneden het vriespunt kan waterdamp direct in de vaste agregatietoestand overgaan. Ook bij dit proces onderstelt men de aanwezigheid van kernen (sublimatiekernen) als noodzakelijk.

Is het bestaan van wolkendruppeltjes hiermede aannemelijk gemaakt, voor de vorming van regendruppeltjes, d.w.z. druppeltjes die minstens een diameter van 0,2 mm moeten hebben bereikt, zijn andere processen noodzakelijk. Immers heeft een druppeltje een diameter van enkele honderdste millimeters (enkele tientallen μ) bereikt, dan is zijn groeisnelheid vrijwel tot nul gedaald.

Tot 1933 was men algemeen van mening, dat de aangroeiing tot grotere druppeltjes geschiedde hetzij door vereniging van kleinere, bij botsingen in turbulente luchtstromingen of door inhalen tijdens de val, hetzij als gevolg van dampspanningsverschillen aan het oppervlak van druppeltjes met verschillende grootte of verschillende temperatuur. BERGERON, een Zweedse geleerde, heeft er echter op gewezen dat in het algemeen deze processen te langzaam verlopen om de snelle regenvorming, zoals die in hoogopschietende stapelwolken plaats vindt, te verklaren. Deze wolken bereiken hoogten, welke in vele gevallen ver boven het niveau liggen waarop de temperatuur beneden het vriespunt daalt. Nu doet zich het merkwaardige feit voor, dat wolkendruppeltjes bij temperaturen beneden 0° C nog zeer vaak vloeibaar blijven. Dergelijke onderkoelde druppeltjes kan men zelfs bij —20° C of lager nog aantreffen. IJskristalletjes ontmoet men in de regel eerst bij temperaturen tussen —5 en —10° C in het z.g. ijskiemniveau. Cumuluswolken die in dit ijskiemniveau reiken, zullen een zone bevatten waarin zowel onderkoelde druppeltjes als ijskerntjes voorkomen. Deze gemengde zone acht BERGERON van beslissende betekenis. Immers bij gelijke temperatuur is de dampspanning aan een ijskristalletje lager dan aan een onderkoeld druppeltje en dit relatief grote dampspanningsverschil zal aanleiding geven tot een damptransport, waarbij het druppeltje verdampt en het ijskristalletje aangroeit. In de korte tijd van 10 à 20 minuten kan het onderkoelde wolkendeel in een ijswolk overgaan. De aangroeiende ijskristalletjes, nog vergroot door onderweg opgevangen waterdruppeltjes, krijgen steeds grotere valsnelheid. Beneden het 0° C-niveau gaan ze geheel in waterdruppels over van voldoende grootte om als regen het aardoppervlak te bereiken.

Dit is in het kort de wordingsgeschiedenis van een regendruppeltje. De theorie van BERGERON, die er aan ten grondslag ligt, is algemeen door de meteorologen aanvaard, daar zij, althans op onze breedten, in overeenstemming met de ervaring schijnt te zijn. In de tropen echter kent men met zekerheid gevallen van stapelwolken, die niet

boven het 0° C-niveau uitkomen, dus zeker niet in het ijskiemniveau reiken, en die toch aanleiding geven tot sterke regenvorming. De tijd belet mij om op de andere verklaringsmogelijkheden in te gaan.

5. Kunstmatige regenvorming

Het is begrijpelijk dat men op middelen heeft gezonnen om wolken die geen regen leveren op kunstmatige wijze tot uitregenen te dwingen. Pogingen daartoe werden reeds 20 jaren geleden door onze landgenoot Veraart ondernomen. Onder militaire druk zijn deze pogingen in de oorlogsjaren in Amerika hervat en ook in andere landen voortgezet. In Amerika werd het onderzoek door het Research Laboratory van de General Electric onder leiding van Langmuir en Schaefer uitgevoerd. Zij waren tot de conclusie gekomen, dat bestrooiing van onderkoelde waterwolken met korrels van koolzuursneeuw tot succes zou moeten leiden. Uit laboratoriumproeven was gebleken, dat een korreltje vast CO_2 als gevolg van zijn zeer lage temperatuur bij zijn val door een wolk een spoor achterlaat van spontaan gevormde ijskerntjes, die met de onderkoelde druppeltjes in hun omgeving het proces van Bergeron in gang zetten. Inderdaad is gebleken, dat men onderkoelde wolken ten dele in ijswolken kan omzetten en tot oplossing brengen. De pogingen om regen te brengen leidden echter niet steeds tot een positief resultaat.

Ook de proefnemingen, die vanwege het U.S. Weather Bureau op allerlei soorten wolken onder allerlei klimatologische omstandigheden zijn uitgevoerd, hebben betrekkelijk weinig resultaat gehad en zijn ten slotte gestaakt.

Niettemin zijn er enkele gevallen bekend geworden met positief resultaat, b.v. in Australië onder leiding van Kraus en Squires. Aan de mogelijkheid om op kunstmatige wijze neerslag te verwekken behoeft derhalve niet te worden getwijfeld.

6. Meteorologische aspecten

Hebben we tot dusverre de neerslag als physisch verschijnsel bekeken, thans willen we de meteorologische zijde bezien.

Voor de vorming van neerslag is nodig dat waterdamphoudende lucht wordt afgekoeld tot condensatie intreedt. Deze afkoeling kan geschieden door warmteafvoer hetzij door geleiding, door straling of door convectieve beweging. De beide eerstgenoemde processen geven gewoonlijk slechts aanleiding tot de vorming van mist of stratiforme wolken en hoogstens neerslag in de vorm van motregen. Verreweg de belangrijkste wijze van afkoeling geschiedt door stijgende beweging van de lucht. Deze komt daarbij onder lagere druk te staan en voert een nagenoeg adiabatische expansie uit waarbij de temperatuur daalt. De stijgende beweging van lucht kan worden veroorzaakt door locale verhitting van lucht aan het aardoppervlak (thermische convectie), door gedwongen opstijging aan terreinverheffingen (orografische optilling) of door optilling aan frontvlakken. Thermische convectie komt in ons land overwegend in de zomer voor en kan aanleiding geven tot plaatselijk zware buien, gepaard gaande met onweer. Sporen van orografische neerslag zijn in ons land eveneens aan te wijzen.

Verreweg het belangrijkste voor de neerslagvorming zijn evenwel de frontvlakken, d.w.z. de scheidingsvlakken tussen luchtsoorten van verschillende oorsprong. Deze luchtsoorten zijn hoeveelheden lucht van grote horizontale uitgebreidheid, die op gelijke hoogten ongeveer dezelfde physische eigenschappen bezitten wat betreft temperatuur en vochtigheid. Zij ontstaan boven homogene delen van het aardoppervlak waar de lucht zich in rust of langzaam stromende beweging bevindt. Als brongebieden voor de vorming van luchtsoorten lenen zich in het algemeen het best de hogedrukcellen, die in de algemene circulatie een kwasie-permanent karakter dragen.

Voor ons land is van belang de subtropische hogedrukcel boven de Noordelijke Atlantische Oceaan: het z.g. Azorenhogedrukgebied. Hier vormt zich de z.g. maritiem tropische lucht, die vrij veel vocht bevat en ons land in de zomer bereikt als een koele massa, des winters als een betrekkelijk warme massa.

Voorts is van betekenis het arctische hogedrukgebied waar zich, boven de ijs- en sneeuwvlakten van Groenland, Spitsbergen, Nova Zembla, de Karische Zee, de arctische luchtsoorten vormen, die, zo ze hun weg over de Noordelijke Atlantische Oceaan nemen, tot de maritieme soort behoren en, zo ze hun weg over het vaste land nemen, tot de continentale worden gerekend. In de winter vormt het hogedrukgebied boven het Russisch-Aziatische continent een brongebied voor de continentale polaire luchtsoort, welke ons strenge winters kan bezorgen. In de zomer heerst in dit gebied een lage druk en levert het continentaal polaire lucht, die ons veel hitte kan brengen. Maritiem polaire lucht wordt boven het Noordelijk deel van de Atlantische Oceaan gevormd. Voor een belangrijk deel, zo niet het belangrijkste deel, vindt de neerslag, welke in ons land valt, zijn oorsprong in de interactie van de maritiem tropische en de maritiem polaire luchtsoorten.

Welke luchtsoort ons land overstroomt hangt nauw samen met de luchtdrukverdeling. Wijzigingen hierin kunnen tot gevolg hebben, dat natte tijdvakken afwisselen met drogere.

7. Klimatologische aspecten

Sedert de oprichting van het K.N.M.I., nu bijna een eeuw geleden, heeft zich over ons land een netwerk van stations uitgebreid, waar door vrijwillige waarnemers dagelijks te 8 uur de neerslag wordt gemeten welke over het afgelopen etmaal is gevallen. Momenteel telt dit net ruim 300 waarnemingsstations. De regenmeter is van een eenvoudig model met 4 dm^2 opvangopening. De neerslag wordt uitgegoten in een bijbehorend langwerpig maatglas, waarop de neerslaghoogte direct kan worden afgelezen.

Dr Braak heeft voor een 140-tal stations met betrouwbare waarnemingsreeksen gemiddelde maand-, seizoen- en jaarsommen bepaald over het 40-jarige tijdvak van 1891–1930. Op grond van de uitkomsten werden kaarten samengesteld, welke de gemiddelde neerslagverdeling over ons land weergeven. Bezien we het jaarkaartje, dan blijkt dat voor de verschillende streken van het land nog belangrijke verschillen mogelijk zijn, welke samenhangen met bodemgesteldheid en hoogteligging van ons land. De natste gedeelten vindt men in een betrekkelijk smalle strook achter de duinen

van Noord- en Zuid-Holland, voorts langs de Gooise en Utrechtse heuvels, de Veluwe en in de Z.O.-hoek van Limburg. De gebieden met de geringste neerslag vindt men rond het IJselmeer, vooral in de omgeving van Kampen, langs het dal van de Maas in Limburg en in Zeeland. Gemiddeld ontvangt ons land per jaar ongeveer 715 mm neerslag; de variatie in de verschillende jaren is echter vrij groot.

Plaatsen, die in Juli de grootste maandsom hebben, liggen meest in het Oostelijk deel van ons land, in het midden komen de plaatsen voor met het regenmaximum in Augustus en langs de Noordzeekust vindt men het regenmaximum in October.

Februari is gemiddeld de droogste maand, voor het N.W. van het land is het April en op de Wadden is het Mei.

Al deze waarnemingsuitkomsten berusten op metingen waarbij de regenmeter op 1,50 m boven de grond was opgesteld. Het is later uit een afzonderlijk onderzoek van Dr BRAAK gebleken, dat deze opstelling op plaatsen met veel wind te lage uitkomsten geeft. Om deze reden zijn in 1947 de regenmeters verlaagd tot 0,40 m boven de grond. De gemiddelde jaarsommen over de periode 1891–1930 werden gecorrigeerd en een nieuw kaartje werd samengesteld. Dit vertoont een overeenkomstige verdeling als het niet-gecorrigeerde kaartje. De tegenstellingen zijn over het algemeen wat verscherpt en de gemiddelde jaarsom voor ons land stijgt tot ongeveer 735 mm. Naast de bewerking van etmaalsommen heeft BRAAK ook een eerste begin gemaakt met een bewerking van de uitkomsten welke met registrerende regenmeters waren verkregen. Hiervan zijn er in ons land slechts weinig aanwezig. Het K.N.M.I. bezit er tot dusverre slechts 2, waarvan 1 te De Bilt en 1 te Castricum op het lysimeterstation. Dit pluviografenonderzoek is in de afgelopen jaren voortgezet door Dr LEVERT, die U in zijn voordracht hierover meer zal vertellen, zodat ik er verder over kan zwijgen. Niet onvermeld mag blijven, dat de instrumentele afdeling van het K.N.M.I. een pluviograaf heeft ontworpen, welke van het heveltype is en een verbetering vertegenwoordigt van het Hellmann-type. Hij zal naar alle waarschijnlijkheid de tot dusver gebruikte pluviograaf van het kantelbakjes-type gaan vervangen.

Ik ben thans aan het einde gekomen van hetgeen ik U in de daarvoor gestelde tijd wilde vertellen en ik moge besluiten met U te verzekeren, dat ook in de verdere toekomst het K.N.M.I. al zijn krachten zal blijven inspannen om, door het onderhouden van een betrouwbaar waarnemingsnet, het volgen van efficiënte bewerkingsmethoden en voortgezette studie zowel in de statistische-klimatologische als de synoptisch-meteorologische richting, het zijne bij te dragen tot nut van de samenleving.

DISCUSSIE

Prof. Ir J. W. THIERRY:

1. Hoe moet men zich de condensatiekernen denken?
2. Hoe is het „duineffect" te verklaren, waar de duinen toch betrekkelijk laag zijn (10—20 m)?
3. Wat is er van waar, dat na veldslagen regen zou optreden (door luchttrillingen)?

ANTWOORD: *Ad 1.* De atmosferische condensatiekernen bestaan overwegend uit hygroscopische deeltjes. Zij worden geleverd door verstuiving van zeewater (NaCl, $MgCl_2$, enz.) of als oxydatieproducten van N, S e.d. afkomstig van industriegebieden, bosbranden, vulkanische uitbarstingen enz.

De z.g. sublimatiekernen zijn vermoedelijk verweringsproducten (woestijnstof).

Ad 2. De duinrand vormt een sterke toeneming van de ruwheid van het bodemoppervlak vergeleken bij het zeeoppervlak. Zij veroorzaakt een verhoogde turbulentieweerstand, zodat lucht in sterkere mate wordt gedwongen te stijgen. Ook al is de bodemverheffing betrekkelijk gering, zij is blijkbaar voldoende om bij laag condensatieniveau, zoals dit in de herfst reeds aanwezig is, aanleiding te geven tot regenvorming.
In de omgeving van Vaals, waar de bodemverheffing veel groter is, treft men gemiddeld het gehele jaar een regenmaximum aan.

Ad 3. Voor zover bekend, veroorzaken veldslagen geen verhoging van de neerslag.

Ir K. W. H. LEEFLANG: Wat is de werking van zilverjodide bij kunstmatige regenvorming?

ANTWOORD: Fijn verstoven AgJ is volgens de onderzoekingen in het Research Laboratory een voortreffelijke vormer van ijskerntjes gebleken bij temperaturen beneden — 4° C. Vermoedelijk moet de gunstige werking worden toegeschreven aan de kristalvorm, welke veel overeenkomst vertoont met die van ijs.
Tegenover de vaste CO_2-korrel hebben ze het voordeel niet te verdampen, terwijl ze aan de onderzijde van een wolk kunnen worden geïnjecteerd, daar ze met de stijgende luchtstroming worden meegevoerd.

II. TOEPASSING VAN DE „THEORIE DER EXTREME WAARDEN" OP DE BEREKENING VAN DE FREQUENTIE VAN EXTREME HOEVEELHEDEN IN REGENS VAN VERSCHILLENDE DUREN

C. LEVERT

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt

Aangezien de „theorie der extreme waarden" (van GUMBEL, BARRICELLI e.a.) bij de meesten wel onbekend zal zijn, moet ik beginnen met haar eerst in grote lijnen te verduidelijken. Allerlei mathematische details (die vele pennen in beweging gebracht hebben) ga ik daarbij natuurlijk voorbij. Het gaat ons hier alleen om de hoofdzaken, vooral ook om de voorwaarden, welke vervuld dienen te zijn, opdat de zo eenvoudige „Gumbelse formules" gebruikt mogen worden (één dezer voorwaarden laat ik namelijk straks vervallen, hetgeen zekere consequenties heeft, die gelukkig nogal meevallen).

THEORIE DER EXTREME WAARDEN

Allereerst een geheel abstracte, louter mathematische beschouwing.

Gegeven een universum van „elementen" (talloos vele metingen van de lengte van dezelfde stok; zeer vele maandsommen neerslag in de maand Augustus; gedurende talloos vele jaren steeds alle etmaalsommen neerslag of alle dagelijkse maximumtemperaturen, enz. enz.); de elementen gehoorzamen aan een gegeven distributie $v(t)dt$, zijnde de kans, dat het element x een waarde heeft tussen t en $t+dt$. Wij nemen N elementen uit het universum (interpretatie: we meten N keren de stoklengte; wij beschouwen gedurende N jaren de Augustus-neerslaghoeveelheid enz.). Onderstellende, dat de waarden onafhankelijk zijn, is de kans, dat zij alle $\leqslant$ a zijn

$$W_N(a) = \left[V(a)\right]^N, \text{ als } V(a) = \int_{-\infty}^{a} v(t)dt \text{ (de ondergrens behoeft niet } -\infty \text{ te zijn).}$$

Anders gezegd: de kans, dat de grootste der N-waarden de a niet overtreft (onderschrijdt), is $W_N(a)$.

Wij berekenen deze kans, omdat wij in gedachten herhaaldelijk N elementen uit het universum en uit deze steeds de grootste nemen. Aan welke verdelingsfunctie $W_N(u)du$ gehoorzaamt deze grootste waarde?

Wij weten nu al $\int_{-\infty}^{a} W_N(u)du = W_N(a)$, zodat

$$W_N(u)du = Nv(u)\left\{\int_{-\infty}^{u} v(t)dt\right\}^{N-1} du$$

Indien $v(t)$ en N gegeven zijn, is $w_N(u)$ *in principe* bekend.

De $w_N(u)$ hangt o.a. met $v(t)$ samen, maar het zal blijken niet sterk (althans als $v(t)$ voor grote t-waarden exact of in benadering exponentieel verloopt), vooral wanneer N groot is — en dat is juist het prettige in deze theorie.

Wij willen nu verschillende bijzonderheden in deze w_N (u) nagaan. Zo vragen wij naar de ligging van de top (modus) $\tilde{u}$, als er een top is. En naar die van het gemiddelde $\bar{u}$ ($\tilde{u}$, indien de kromme scheef is).

Het blijkt, dat er een $\tilde{u}$ is als $v(t) \to 0$ voor $t \to \infty$ en dat alleen voor grote N de $\tilde{u}$ volgt uit $V(\tilde{u}) = 1 - \frac{1}{N}$.

Tegelijkertijd laat zich bewijzen, dat bij grote N de bovengenoemde w_N (u)du niet veel (verwaarloosbaar) verschilt van de benadering:

$w(u)du = \alpha e^{-y-e^{-y}} dy$, waarbij y = „gereduceerde" u-coördinaat $= \alpha\,(u-\tilde{u})$

en $\alpha = Nv(\tilde{u})$; $W(u) = e^{-e^{-y}}$.

Voorts zijn alle krommen w_N (u) tegen u naar rechts scheef, dus $\bar{u} > \tilde{u}$, terwijl $\bar{u} - \tilde{u}$ afneemt met toenemende N. De scheefheid blijft er altijd in, aangezien men bewijzen kan, dat lim $W_N(\tilde{u}) \to e^{-1} = 0{,}37$ bij $N \to \infty$.

Het blijkt: $\bar{u} = \tilde{u} + c/\alpha$; c = constante van Euler = 0,58.

Verder blijkt: $\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$, als σ^2 = variantie in u-universum.

Enige illustraties

Na deze voornaamste punten uit de theorie werden enige figuren vertoond, ter illustratie bij de vergelijking tussen w_N (u) (exact) en w(u) (benaderd) voor enige N-waarden (2,5 en 10) en bij drie v(x)-functies.

Eerst v(x) = normale (Gaussische) functie (fig. 1); daarna v(x) = rechte lijn tussen v = a bij x = 0 en v = 0 bij x = b (fig. 2).

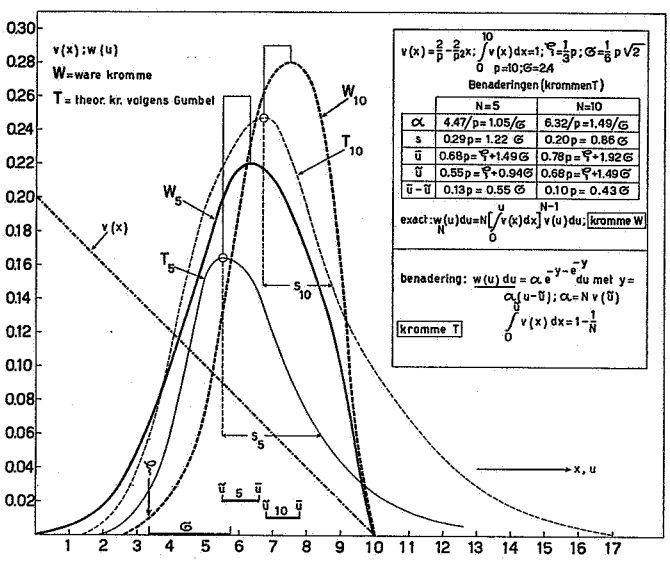


FIG. 1

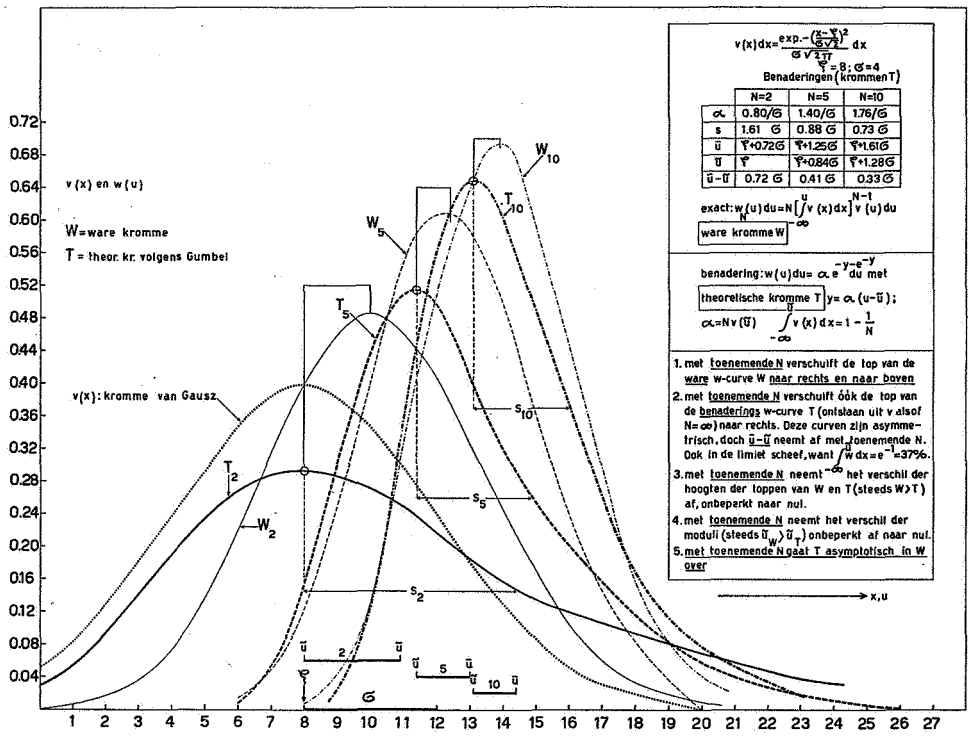


FIG. 2

(een sterk geïdealiseerde *J*-curve). Ten slotte nog bij v(x) = U-curve, d.w.z. een verdelingsfunctie, welke loopt tussen v = b bij x = —R en v = b bij x = +R en bij x = 0 een minimum heeft. In het laatste geval komt er een w_N (u)-functie te voorschijn (bij N = 10), welke bij 0 begint voor u = —R, lang laag blijft en in de buurt van +R steil klimt tot een eindige waarde — en wel 10.b —; in dat geval heeft de w_N-curve derhalve in het geheel geen top met een „staart" naar rechts (fig. 3).

Natuurlijk kan men deze theorie in vele artikelen beschreven vinden (zie de literatuurlijst aan het einde van deze verhandeling). De leider van de „Regendag", Dr DEIJ, raadde mij af zo zonder meer de beginselen van de theorie bekend te onderstellen. Dus moest ik wel beginnen met de hoofdzaken uiteen te zetten. Ik koos opzettelijk de abstracte vorm, o.a. om goed te laten uitkomen, dat de theorie op vele kwesties van extreme waarden (zeker niet alleen klimatologische) toegepast kan worden.

TOEPASSINGEN

A. Min of meer ter training ben ik begonnen met de theorie toe te passen op de jaarlijkse grootste maandsom en de jaarlijkse grootste etmaalsom neerslag.

1. Gedurende een groot aantal jaren (1849–1946) werd voor De Bilt in ieder jaar de grootste maandsom opgezocht (meestal is deze gelegen in een der zomermaanden). Dit levert 98 u-waarden. Met deze wordt verder gerekend. Alle gegevens, directe en indirecte, zijn in tabel 1 verenigd. Zo komt men tot $\tilde{u} = 128$ en $\tilde{u} = 114$ mm. Talrijke grafieken hebben ons geleerd hoe goed de theorie zich bij de „meetpunten" aansluit, zodat wij tevreden mogen zijn. Er zijn verschillende methoden, die kunnen worden gevolgd om de theorie aan de praktijk of omgekeerd te toetsen; de „goedheid" van aanpassing kan o.a. met de g^2-toets beoordeeld worden. Hierover kon ik (vanwege tijdsgebrek) niet veel of niets zeggen.

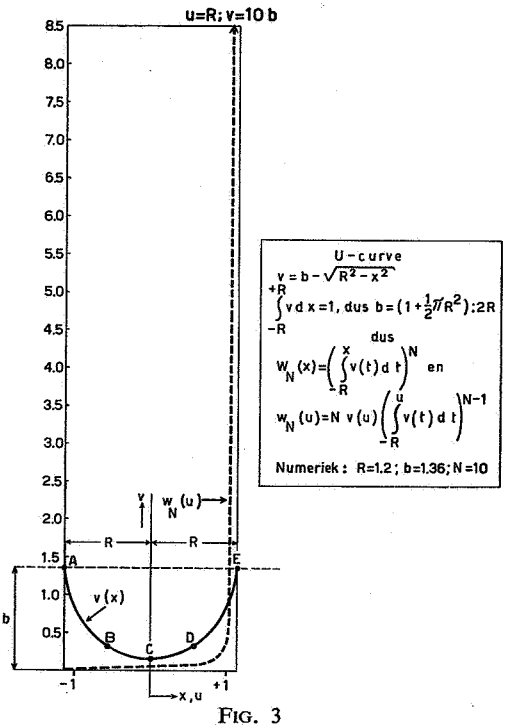


FIG. 3

Er is nog één zeer belangrijke grootheid $\bar{T}$ in de theorie, de „gemiddelde herhalingstijd" (returnperiod; exceedence interval etc.). Definitie: na gemiddeld $\bar{T} = \bar{T}(a)$ jaren zal de jaarlijkse grootste maandsom weer de waarde a bereiken of overschrijden. Deze $\bar{T}$ laat zich exact en benaderd (nl. in de onderstelling, dat N groot is) berekenen. Indien N groot is en des te beter bij grotere u, zal meer en meer het verband $\log \bar{T} = 0{,}43\ \alpha\ (u - \tilde{u})$ gelden.

Dit is een merkwaardige uitkomst. Het gaat ons in de praktijk dikwijls juist om deze $\bar{T}$. Een voorbeeld: het 98-jarige materiaal (De Bilt) leert, dat de jaarlijkse grootste maandsom de 174 mm (d.i. de hoeveelheid neerslag in de extreem natte maand Februari 1946) bereikt of overtreft 1 keer in gemiddeld 14 jaren. Zo iets toetsen wij graag, als het kan. Men bedenke echter goed, dat toetsing dikwijls en bij uitspraken t.a.v. zeer extreme waarden zeker niet mogelijk is, want hoe zal men de bewering verifiëren, dat de jaarlijks grootste maandsom 1 keer in gemiddeld 300 jaren de waarde 250 mm bereikt of overtreft, wanneer ons maar b.v. 100 jaren regenmetingen ter beschikking staan?

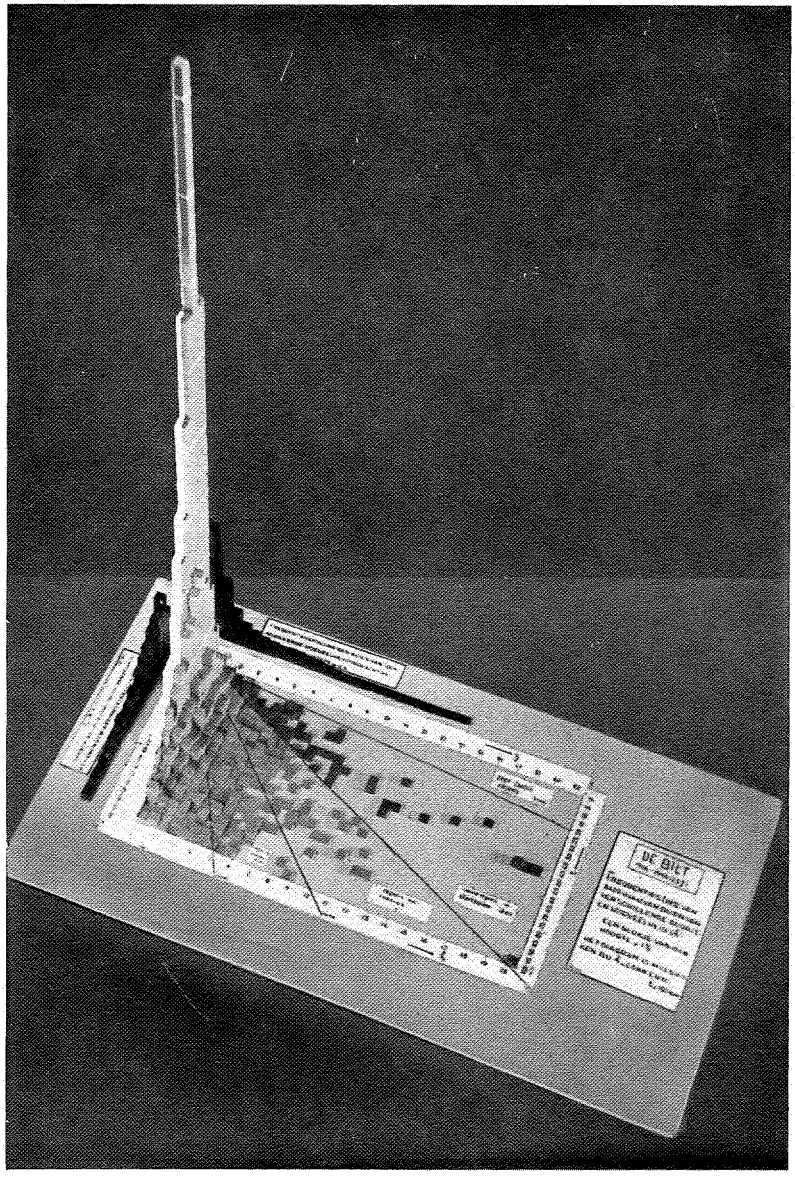
Men moet niet het onmogelijke verlangen. Wanneer men meent bewezen te hebben, dat de gehanteerde theorie zeer goed past bij de lagere extremen, dan moet men durven extrapoleren ..... of het extrapoleren helemaal verbieden (maar hoe dan verwachtingen te maken?).

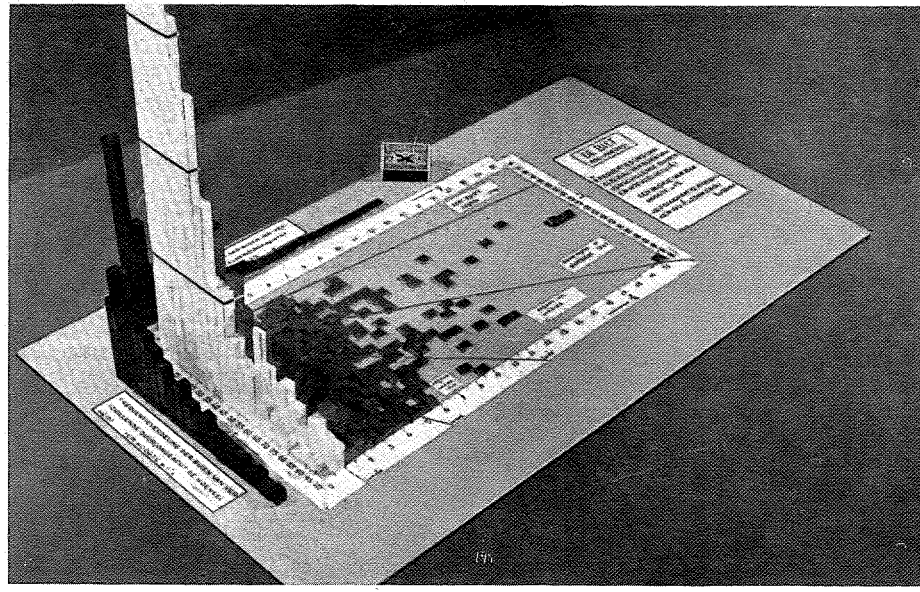
Het genoemde geval van 1 keer per gemiddeld 14 jaren liet zich enigszins toetsen. Wij telden in de 40 jaren 1901—1940 4 keren een jaarlijkse grootste maandsom $\geqq$

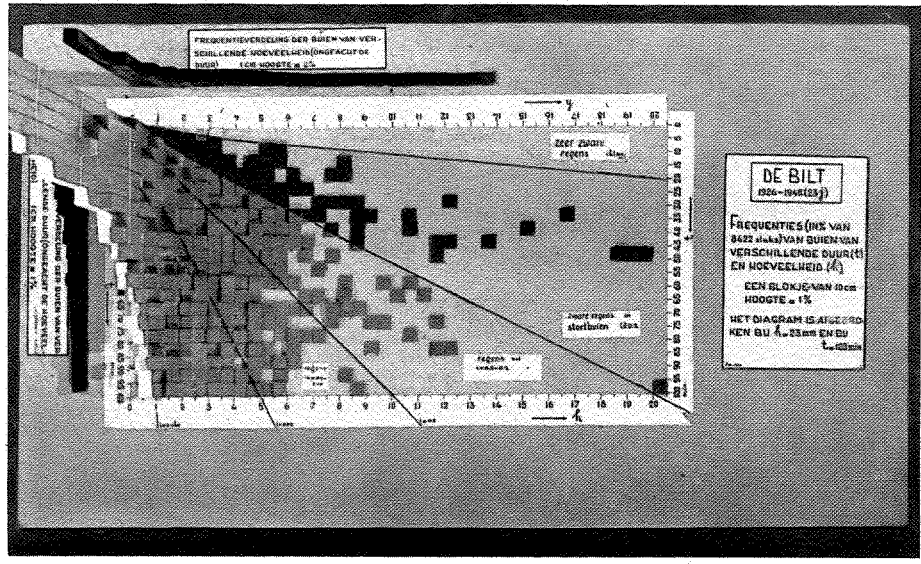
FIG. 4. Drie foto's van een ruimtelijk diagram der regens. De percentuele frequentie (langs de verticale as) der aantallen regens is een functie f van de hoeveelheid regen h mm en de duur t minuten; h is ingedeeld in intervallen van $\frac{1}{2}$ mm, t in intervallen van 5 min. De houten staafjes in het model waren geverfd in drie kleuren; wit voor alle regens met $\bar{i} = h/t \leqslant 0{,}01$ mm/min; groen voor $0{,}01 < \bar{i} < 0{,}2$; rood voor $0{,}2 \leqslant \bar{i} < 1{,}0$, en geel voor $\bar{i} \geqslant 1{,}0$. De staafjes langs de randen, die f als een functie van h (ongeacht de waarden van t) of f als een functie van t (ongeacht de waarden van h) uitbeelden, waren blauw geverfd.

FIG. 4. *Three photographs of a diagram in three dimensions. The percentage frequency (along the vertical axis) of the number of rains is a function f of the rainfall h mm and the duration t min; h in intervals of $\frac{1}{2}$ mm and t in intervals of 5 min. The wooden sticks in the model were painted in three colours; white for all rains with $\bar{i} = h/t \leqslant 0{,}01$ mm/min; green for $0{,}01 < \bar{i} < 0{,}20$; red for $0{,}20 \leqslant \bar{i} < 1{,}0$ and yellow for $\bar{i} \geqslant 1{,}0$. The sticks along the borders, representing f as a function of h (irrespective of the values of t) and f as a function of t (irrespective of the values of h), were painted in blue.*

FIG. 4. *Trois photographies d'une graphique en trois dimensions. La hauteur de la surface représentant la fréquence des nombres de pluies (sur l'axe vertical) est une fonction f de la quantité de précipitation h mm et de la durée t minutes; on a groupé les valeurs de h en intervalles de $\frac{1}{2}$ mm et les valeurs de t en intervalles de 5 minutes. Les barres verticales de bois ont été peintes en trois couleurs; blanc pour toutes les pluies de $\bar{i} = h/t \leqslant 0{,}01$ mm/min.; vert pour toutes les pluies de $0{,}01 < \bar{i} < 0{,}20$; rouge pour $0{,}20 \leqslant \bar{i} < 1{,}0$ et jaune pour $\bar{i} \geqslant 1{,}0$. On a peint les barres, situées le long des deux axes horizontaux, en bleu; ces barres représentent f en fonction de h (quelque valeur qu'eût la durée t) ou f en fonction de t (quelque valeur qu'eût la quantité h).*


DE BILT




FREQUENTIEVERDELING DER BUIEN VAN VERSCHILLENDE HOEVEELHEID (ONGEACHT DE DUUR) 1 CM HOOGTE = 2%
zeer zware regens
DE BILT
1926-1948 (23 j)
FREQUENTIES (IN% VAN 8422 stuks) VAN BUIEN VAN VERSCHILLENDE DUUR (t) EN HOEVEELHEID (h)
EEN BLOKJE VAN 10 cm HOOGTE = 1%
HET DIAGRAM IS AFGEBROKEN BIJ h = 23 mm EN BIJ t = 100 min

TABEL 1. De Bilt 1849—1946. u = grootste maandsom per jaar; de 98 u-waarden zijn genoteerd in volgorde van niet-afnemende grootte.

A

i	u_i	i	u_i	i	u_i	i	u_i	i	u_i
1	*62,4*	21	105,1	40	115,3	60	129,3	79	147,1
2	71,0	22	106,1	41	116,0	61	130,1	80	148,1
3	72,6	23	107,7	42	117,9	62	130,1	81	148,4
4	81,7	24	107,9	43	121,0	63	130,3	82	148,7
5	83,4	25	108,0	44	122,0	64	131,8	83	152,8
6	84,1	26	108,9	45	122,5	65	133,7	84	154,0
7	84,9	27	109,2	46	122,6	66	134,6	85	154,3
8	90,4	28	109,9	47	122,6	67	136,1	86	167,3
9	91,1	29	110,7	48	122,7	68	136,2	87	171,1
10	95,0	30	111,4	49	123,4	69	138,0	88	171,5
11	95,3	31	111,6	50	124,3	70	138,3	89	174,0
12	96,3	32	111,8	51	124,6	71	138,6	90	175,9
13	97,1	33	112,2	52	125,5	72	138,8	91	183,2
14	97,4	34	113,6	53	126,1	73	139,3	92	189,4
15	100,3	35	113,7	54	126,5	74	142,7	93	192,0
16	102,7	36	114,3	55	126,6	75	142,8	94	192,8
17	102,8	37	114,4	56	126,9	76	145,2	95	193,8
18	103,7	38	114,6	57	127,6	77	146,1	96	194,3
19	104,1	39	115,2	58	127,8	78	146,9	97	215,4
20	104,5			59	128,9			98	*221,2*

B

Tijdvak	Aantal jaren	Gem. $\bar{u}$ mm	Standaarddeviatie in mm van		α	$\tilde{u}$ mm
			indiv. waarden	gemiddelde		
1849—1946	98	127,6	30,8	3,1	0,042	113,7

174 mm (dus 1 keer in 10,0 jaren) en in de 98 jaren 1849—1946 10 keren d.i. 1 keer in 9,8 jaren. De overeenkomst tussen 10,0 of 9,8 en 14 is „goed". Beter kan haast niet: de $\bar{T}$ is *zeer* gevoelig voor een iets andere ligging van de u; log $\bar{T}$- rechte! Het ware gewenst, dat de auteurs meer aandacht op deze „gevoeligheid" vestigden!

2. Daarna behandelde ik de toepassing op de grootste hoeveelheid neerslag per etmaal, jaar voor jaar opgezocht òf steeds in dezelfde, òf onverschillig in welke maand. Ook nu resulteert er een zeer bevredigende aanpassing van de theorie aan de praktijk en omgekeerd (tabel 2).

Er is nog een belangrijke consequentie van de theorie. Men kan haar zeer gemakkelijk geschikt maken voor de beantwoording van de vraag „welke is de meest waarschijnlijke grootste dagsom (c mm) in de maand Mei in de eerstvolgende a jaren?" En deze vraag is nòg belangrijker dan „welke waarde (b mm) wordt door de jaarlijkse

TABEL 2. De Bilt 1901—1940. Theorie van GUMBEL en jaarlijkse grootste dagsom neerslag, uit directe gegevens.

A

Grootheid \ Maand	Jan.	Febr.	Mrt.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jaar 1901–1940	
$\bar{u}$	12,1	10,3	11,3	13,4	14,8	17,5	20,0	20,8	18,1	17,0	14,9	12,9	33,3	mm
u_{min}	3,8	1,6	2,6	3,3	3,8	5,1	4,1	6,1	5,0	4,1	5,9	3,5	15,9	mm
u_{max}	46,2	22,1	27,5	28,1	46,3	47,5	39,2	42,7	42,0	33,7	30,5	25,8	53,6	mm
s_u	6,8	6,1	4,9	7,7	9,1	9,5	9,1	9,3	9,4	7,5	5,1	4,7	8,8	mm
$s_u : \bar{u}$	56	59	43	58	61	54	45	45	52	44	34	36	26	%
α	0,19	0,21	0,26	0,17	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,17	0,25	0,27	0,14	mm
$\tilde{u}$	9,0	7,6	9,1	9,9	10,7	13,2	15,9	16,6	13,9	13,6	12,6	10,8	28,7	mm

B

	na vereffening											
$\bar{u}$	11,3	10,3	11,1	12,9	15,5	18,2	20,3	20,4	19,0	17,0	14,9	12,8
s	4,9	5,2	6,1	7,5	8,7	9,3	9,5	9,2	8,6	7,6	6,2	5,3
α	0,26	0,25	0,21	0,17	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17	0,21	0,24
$\tilde{u}$	9,1	8,0	8,3	9,5	11,6	14,1	16,0	16,3	15,1	13,6	12,1	10,4
$\bar{u} - \tilde{u}$	2,2	2,3	2,8	3,4	3,9	4,1	4,3	4,1	3,9	3,4	2,8	2,4

BETEKENIS: $\bar{u}$ = gem. jaarl. grootste etmaalsom (gem. van 40 getallen, waarvan $u_{min.}$ het kleinste en $u_{max.}$ het grootste is); $\tilde{u}$ = meest waarschijnlijke waarde.
s_u = stand. dev. in de 40 u-waarden.
α = parameter in de theorie van GUMBEL; $\alpha = \pi/s\sqrt{6}$.

grootste dagsom in Mei 1 keer per gemiddeld a jaren bereikt of overtroffen?" Het laat zich bewijzen, dat steeds c > b, doch, dat met toenemende a het verschil onbeperkt afneemt. Dit is een voor de praktijk zeer prettige consequentie.

B. Eerst daarna kon ik overgaan op de *toepassing bij het onderzoek der regens.*

Om te beginnen hebben wij alle pluviogrammen van de pluviograaf te De Bilt uitgetrokken. Betrouwbaar is het materiaal eigenlijk pas sedert 1926. Mijn onderzoek betreft 1926–1948. Van een regen spreek ik zolang de pluviocurve stijgt (wij hebben de regens dus niet geclassificeerd m.b.t. hun verband met onweer, fronten enz.). Genoteerd werd van *elke* regen (kortdurende, langdurende, lichte, zware, enz.) — meer dan 8000 stuks — de dag, het begintijdstip, de duur, de hoeveelheid, de gemiddelde intensiteit (= hoeveelheid: duur), de maximale momentane intensiteit en nog enige karakteristieken (betrekking hebbende op de kwalificatie stortregen, zware regen, zeer zware regen, hevige regen). Ter wille van nog andere studies werd een driedimensionaal blokkendiagram gebouwd (fig. 4), weergevende langs de x-as de duur (t in min.), langs de y-as de hoeveelheid (h in mm) en langs de verticale z-as de procentuele frequentie (f in %).

Zulk een drie-dimensionaal diagram geeft ons inzicht in de frequentieverdeling der hoeveelheden van regens van eenzelfde duur (en deze duur variërend) of in die der duren van regens van eenzelfde hoeveelheid (en deze weer variërend) of in die der hoeveelheden en duren van regens van eenzelfde gemiddelde intensiteit (en deze variërende tussen b.v. 0,01 en 4,00 mm/min.) enz. enz.

NU DE THEORIE VAN GUMBEL OP EEN WAT VREEMDE MANIER TOEGEPAST

Ieder jaar telt wel hetzelfde aantal maanden (N = 12) of hetzelfde aantal dagen per jaar of maand (N = 365 of N = 31 in b.v. Augustus), maar niet hetzelfde aantal regens van 5, 10, 15 ..... minuten ..... en toch wil ik doen alsof dat wel zo is. Eigenlijk mag ik de theorie van GUMBEL dan niet meer toepassen, want daar is sprake van één vaste N. Is dit bezwaarlijk? De berekeningen moeten het antwoord geven. Het blijkt, dat de ligging der „meetpunten" rondom de best aangepaste kromme niet slechter is dan in de gevallen, waarin de theorie wèl toegepast mocht worden ..... en nog wel bij zoveel kans op een groot „steekproefeffect" (maar 23 jaren ofwel steeds 23 meetpunten).

Wij zijn eigenlijk op een nieuw probleem terecht gekomen:

„Gegeven een initiaalvariabele x, welke aan een gegeven kansdistributie φ (x)dx gehoorzaamt. Men neemt uit het universum der x-waarden aselecte steekproeven ter grootte N_1, N_2 ....., welke N-waarden zelf aan een gegeven verdeling ψ (N)dN gehoorzamen. De volgorde der N-waarden is toevallig. In iedere N-groep beschouwt men de grootste waarde, d.i. u_1, u_2 .....

Gevraagd: hoe ziet de verdeling $\emptyset$ (u)du der u's er uit?

Hoe hangt deze $\emptyset$ (u) samen met de $\bar{N}$ uit ψ (N) en laat zich gemakkelijk bewijzen, dat ons probleem in dat van GUMBEL overgaat hoe groter $\bar{N}$ en hoe kleiner $s_N \bar{N}$ is (s_N = standaarddeviatie in de ψ (N) verdeling)?"

De oplossing van dit, mathematisch gezien, interessante vraagstuk heb ik niet gevonden. Ik heb echter weinig moeite gedaan. De exacte oplossing hebben wij toch niet nodig. De aanpassing van de theorie van GUMBEL blijkt bevredigend. Wij hebben nu voor een aantal groepen van duren en wel 1–5, 6–10 ..... 56–60 minuten (niet verder gaande omdat het gemiddeld jaarlijkse aantal regens met de duur afneemt en bij 56–60 minuten reeds tot 10,8 gedaald is) in ieder jaar de grootste hoeveelheid opgezocht. Met deze wordt dan verder gerekend. Zo komen wij dan tot een gemiddelde en een meest waarschijnlijke jaarlijkse grootste hoeveelheid(voorbeeld: 1–5 min.: 1,4 resp. 1,1 mm; 26–30 min.: 4,5 resp. 3,3 mm; 56–60 min.: 5,1 resp. 3,7 mm). De resultaten werden in een overzichtelijke tabel (tabel 3) samengevat. Fig. 5 illustreert de sterke wisseling in de hoeveelheden van regens van verschillende duren. Voorbeeld: de hoeveelheden in regens van 21–25 minuten varieerden in de jaren 1926–1948 tussen 10,4 en 0,2 mm, rondom een gemiddelde van 1,1 mm. De grootste voorgekomen hoeveelheden gehoorzamen zeer ruw aan 2,04 $\sqrt{t}$; de gemiddelde hoeveelheden zeer ruw aan 0,24 $\sqrt{t}$; verder kunnen wij ieder jaar de grootste hoeveelheid in een regen van t minuten opzoeken en deze 23 waarden

TABEL 3. De Bilt 1926—1948. Volledige regens.

t min.	N_1	$\bar{N}$	N_2	s_N %	primair h_1	$\bar{h}$	h_2	s_h	secundair α	$\bar{h}$	primair α	$\bar{h}$
1— 5	3	28,4	65	59	0,3	1,4	3,5	0,7	1,76	1,19	1,76	0,91
6—10	16	39,5	67	29	0,6	2,2	5,6	1,2	1,06	1,71	1,06	1,50
11—15	17	31,5	51	28	1,0	3,2	8,2	1,8	0,71	2,40	0,82	2,51
16—20	14	28,4	47	27	1,3	4,0	8,3	1,8	0,73	3,20	0,64	2,51
21—25	12	23,4	34	25	1,7	3,6	7,0	1,6	0,79	2,80	0,73	2,46
26—30	9	21,3	30	22	1,0	4,5	12,4	2,7	0,47	3,26	0,53	3,07
31—35	7	17,4	27	29	1,2	5,6	16,7	4,3	0,30	3,74	0,30	3,22
36—40	6	10,2	12	44	1,4	4,2	15,2	3,0	0,42	2,86	0,56	2,68
41—45	9	14,8	22	31	1,5	5,3	13,7	3,5	0,36	3,70	0,35	3,25
46—50	5	9,9	20	37	0,9	7,8	27,2	7,2	0,18	4,50	0,18	3,40
51—55	3	8,2	12	34	0,6	3,3	7,4	1,8	0,72	2,47	0,66	1,98
56—60	6	10,8	23	37	0,2	5,1	14,2	3,1	0,41	3,69	0,47	3,72
alle duren	255	367	504	9	15,5	27,7	49,3	9,4	0,14	23,6	0,13	22,2

TOELICHTING:

t = totale duur van de regen; $\bar{N}$ = gem. aantal regens per jaar; N_1 = kleinste, N_2 = grootste jaarlijkse aantal; s_N = standaarddeviatie in de 23 N-waarden; de jaarlijkse grootste hoeveelheid in een regen van t minuten heet h (mm), in de tekst wordt de letter u gebruikt; de 23 h's hebben een gemiddelde $\bar{h}$ en spreiden tussen h_1 en h_2 met een standaarddeviatie s_h; $\bar{h}$ = meest waarschijnlijke jaarlijkse grootste hoeveelheid neerslag in een regen van t minuten.

(1926–1948) middelen; dat geeft b.v. voor t = 21 à 25 min.: 3,7 mm. In ruwe benadering $0{,}81\sqrt{t}$. Men houde goed het verschil tussen $0{,}24\sqrt{t}$ en $0{,}84\sqrt{t}$ in het oog.

Na verschillende vereffeningen (nodig vanwege het nogal grote steekproefeffect: slechts 23 jaren; liever zouden wij een materiaal van 50 of 75 jaren gehad hebben) wordt weer het verband tussen de gemiddelde herhalingstijd $\bar{T}$ (in jaren) en de jaarlijkse grootste hoeveelheid h_{max} (in mm) in regens van duren 1–5, 6–10 . . . . . 56–60 minuten, direct (uit de praktijkgegevens) en theoretisch berekend. De overeenkomst tussen theorie en „experiment" blijkt meestal zeer bevredigend. De krommen log $\bar{T}$ tegen h_{max} (rechte lijnen voor grote h_{max}) bij verschillende t-waarden worden in één grote grafiek bijeengebracht (fig. 6). Voorbeeld: een waarde van 8 mm wordt door de jaarlijks grootste hoeveelheid in een regen van 21–25 min. 1 keer in gemiddeld 20 jaren bereikt of overtroffen; in een regen van 55–60 min. 1 keer in gemiddeld 5 jaren.

Tegelijkertijd betekent dit (in goede benadering) ook, dat om de gemiddeld 2 keren (dus om de ca 20 jaren) de grootste hoeveelheid in 10 jaren in een rege n van 21–25 min. de 8 mm zal bereiken of overschrijden; ook, dat om de gemiddeld 4 keren (derhalve om de ca 20 jaren) de grootste hoeveelheid in 5 jaren in een regen van 21–25 min. de 8 mm zal bereiken of overschrijden enz. (alles uit $20 = 1 \times 20 = 2 \times 10 = 4 \times 5$ . . . . .). De praktijk vraagt b.v. dikwijls: welke is de meest waarschijnlijke waarde

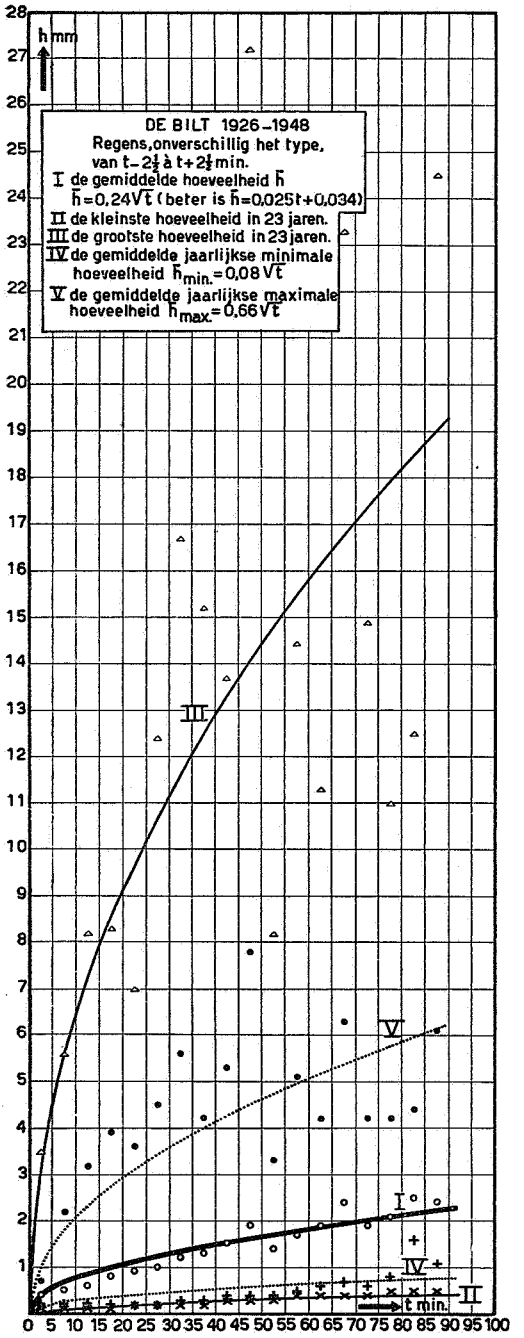


FIG. 5.
Geanalyseerd werden alle regens, onverschillig welk type, uit het tijdvak 1926—1948, te De Bilt; hoeveelheid h mm, duur t min. De figuur bevat 5 krommen, zie de legenda. De regens van meer dan $1\frac{1}{2}$ uur zijn zo weinig talrijk, dat het geen zin heeft de krommen voorbij 90 min. te tekenen.

FIG. 5. *Rains of every type*

I. the mean amount of precipitation $\bar{h}$ *(mm)* $\bar{h} = 0{,}24 \sqrt{t}$; *better is* $\bar{h} = 0{,}025\ t + 0{,}034$; t = *duration in min.*

II. the smallest amount in the whole basic period of 23 years in a rain of t minutes.

III. the largest amount etc.

IV. the mean annual smallest amount: $\bar{h}_{\min} = 0{,}08 \sqrt{t}$.

V. the mean annual largest amount: $\bar{h}_{\max} = 0{,}66 \sqrt{t}$.

The fact is stressed that curve III is situated much higher than curve I and that $\bar{h}$ *increases only slowly with t.*

FIG. 5. *Des pluies de tous les types*

I. la quantité moyenne de précipitation $\bar{h}$ *(mm);* $\bar{h} = 0{,}24 \sqrt{t}$; *une relation meilleure est:* $\bar{h} = 0{,}025\ t + 0{,}034$; *t = la durée totale en min.*

II. la plus petite quantité pendant une pluie de t minutes, dans la période 1926—1948.

III. la plus grande quantité, etc.

IV. la valeur moyenne de la plus petite quantité de précipitation pendant une pluie de t minutes, prise dans chaque année.

V. la valeur moyenne de la plus grande quantité de précipitation pendant une pluie de t minutes, prise dans chaque année.

L'accent est porté sur le fait que la courbe III est située plus haute que la courbe I et que la valeur $\bar{h}$ *croit lentement avec la durée de la pluie.*

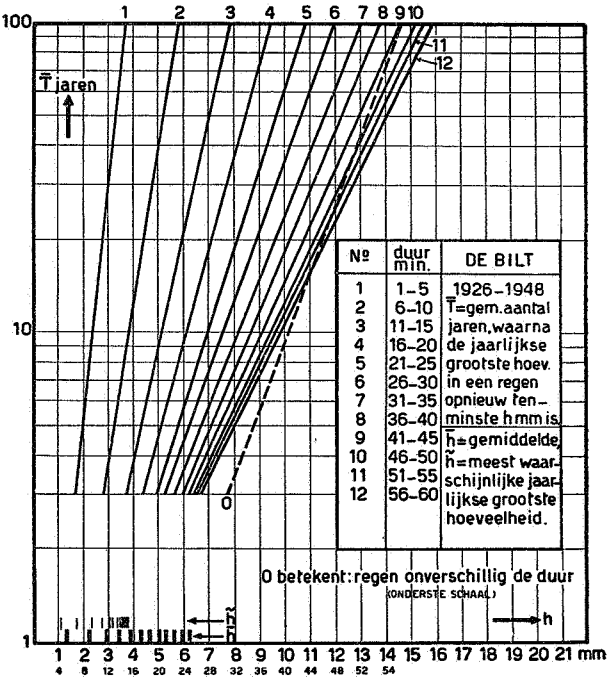


FIG. 6. $\bar{T}$ = gemiddelde herhalingstijd (in jaren) van een jaar, waarin de grootste hoeveelheid in een regen van t minuten de waarde h mm bereikt of overtreft. Zie verder de legenda. Men lette op het verschil tussen $\bar{h}$ en $\tilde{h}$; in de scheve verdeling der jaarlijkse grootste hoeveelheden in regens van t minuten is de gemiddelde waarde $\bar{h}$ en de meest waarschijnlijke waarde $\tilde{h}$.

FIG. 6. *$\bar{T}$ = is the mean return period (in years) of a year in which the largest amount of precipitation in a rain of t minutes equals or exceeds h mm. The relation between $\bar{T}$ (in logarithmic scale) and h is linear only for values of $\bar{T}$ larger than say, 10 years. We have drawn 12 straight lines i.e. for t = 1—5; 6—10 . . . . ., 56—60 min. and also a straight line for rains of any duration whatever. We have indicated the values of $\bar{h}$ and $\tilde{h}$ on the horizontal axis.*

FIG. 6. *$\bar{T}$ est la durée de retour moyenne (en années) d'une année dans laquelle la plus grande quantité de précipitation pendant une pluie de t minutes égale ou excède h mm. La relation entre $\bar{T}$ et h est linéaire ($\bar{T}$ en échelle logarithmique) pourvu que $\bar{T}$ soit grande (plus grande que 10). On a tracé 12 lignes droits, représentant t = 1—5, 6—10, ..., 56—60 min.; de même une droite pour des pluies de toutes les durées. L'accent est porté sur la différence entre les valeurs de $\bar{h}$ et $\tilde{h}$, indiquant l'écart moyenne et la dominante de la distribution des extrèmes valeurs de pluies mentionnées.*

in de eerstkomende 30 jaren van de grootste hoeveelheid in een regen van 55–60 min.? Antwoord: als wij de meest waarschijnlijke waarde van de jaarlijkse grootste hoeveelheid kennen (ca 3,8 mm), dan vinden wij de gevraagde waarde door te berekenen $3{,}8 + \frac{1}{\alpha} \lg N$, met $N = 30$ en $\alpha = 0{,}4$, zodat het antwoord luidt 12,3 mm.

Aan het zeer kort aangeven van nog enige andere werkmethoden kwam ik niet toe. Zeer snel vestigde ik de aandacht op de grote noodzaak steeds de betrouwbaarheid van de uitspraken te beoordelen en zo mogelijk numeriek te vermelden. Het valt te betreuren, dat vele auteurs na zeer veel werk juist dit uiterst belangrijke punt buiten beschouwing laten, althans er niet die aandacht aan schenken, die het verdient. Het blijkt nl., dat, wanneer men het wel doet (ik heb verschillende publicaties op dit

punt bekeken), dat de verschillende resultaten lang zo verschillend niet zijn als zij dit op het eerste gezicht lijken.

Ten slotte werd ook nog even de aandacht gevestigd op een ander merkwaardig punt.

Aan de „herhalingstijd" zitten verschillende kwesties vast, die ook praktische betekenis hebben. Men dient o.m. goed onderscheid te maken tussen het „exceedence"-interval (de gemiddelde tijd gelegen tussen twee opeenvolgende keren, waarbij de grootste waarde de a overschrijdt) en „occurrence"-interval (. . . . . de a *bereikt* of overschrijdt). Een subtiel verschil, met merkwaardige consequenties. GUMBEL heeft er een afzonderlijk artikel aan gewijd. Bovendien resteert er nog een merkwaardigheid, die ik in de grafieken van GUMBEL's artikel bevestigd vond (hoewel hij er in de tekst niet op wijst) en bij herhaling bij eigen werk opmerkte. Zij betreft het volgende. Zoals gezegd sturen wij aan op het verband tussen log $\bar{T}$ en u ($\bar{T}$ = gemiddelde herhalingstijd; u = grootste waarde), dat voor grote u (en beter bij grote N) meer en meer lineair wordt. Hoe goed ook bij lage u-waarden de meetpunten rondom de theoretische curve mogen liggen, de afwijkingen tussen de meetpunten en het „rechtse" deel van de log $\bar{T} \leftrightarrow$ u-curve (grote u) neemt met toenemende u toe en wel zo — althans bij mijn berekeningen zeer duidelijk — dat in dit gebied alle meetpunten boven de rechte liggen (log $\bar{T}$ langs verticale en u langs horizontale as). Voor zeer grote u blijkt dus de theoretische $\bar{T}$ kleiner dan de gemetene; anders gezegd (en beter?): aannemende dat hier de theorie het goede antwoord geeft (ofschoon we in het extrapolatiegebied verkeren), geeft het „experiment" een te grote $\bar{T}$. Populaire interpretatie: de zeer grote u-waarden, die men voor zeer zeldzaam houdt (zeer grote $\bar{T}$) zijn niet zo zeldzaam in werkelijkheid. Zij lijken het door de kortheid van onze waarnemingsperiode. Als wij die maar wat langer konden maken, zou diezelfde zeer grote u-waarde wel nog eens optreden en dus minder zeldzaam worden. Ik ben van de juistheid van deze interpretatie echter nog niet overtuigd. Dit en andere punten zijn nog in studie.

SLOT

Ik eindigde met er nog eens op te wijzen, dat men deze theorie na zovele nuttige toepassingen op het terrein van hoogste waterstanden (dijkconstructie), stormvloeden, sterkste windstoten, hoogste leeftijden (lijfrenten), laagste en hoogste temperaturen, hoogste vochtigheden, extreme intervallen tussen momenten van emissie van radioactieve deeltjes enz. ook op dat van de *grootste hoeveelheden in regens van uiteenlopende duren zeer goed kan toepassen.* Ik had het niet eerder zien doen. Wat is er tegen? Wanneer men maar voortdurend goed weet wàt men doet, hoever men nog kan gaan en hoe het met de betrouwbaarheid der uitspraken gesteld is, mag men niet nalaten het althans te proberen. De praktijk, vooral die der laatste jaren, plaatst ons voor vragen, die een antwoord eisen; ook een antwoord in een beperkte betekenis (als men maar weet hoè beperkt) is een antwoord, misschien beter dan geen antwoord.

ENIGE LITERATUUR

L. TIPPETT	*Biometrika 17* (1925) 364.
R. FISHER and L. TIPPETT	*Proc. Camb. Phil. Soc. 23* (1928) 912.
E. GUMBEL	*Ann. Inst. Henri Poincaré 5* (1936) 115.
E. GUMBEL	*Act. Sc. et Ind.* No 520 (1937).
E. GUMBEL	*B.A.M.S. 23* (1942) 95.
	Ann. Met. Stat. 18 (1947) 384.
N. BARRICELLI	*Arch. f. Mat. og. Naturv.* B XLVI No 6.
J. VIALAR	Calcul des Probabilité's et Statistique I, II (1947).
D. VAN DANTZIG	Kadercursus Stat. Hoofdstuk 6 § 2 (1947).
C. LEVERT	*Med. en Verh. K.N.M.I.* No 62 (1954) „Regens; een statistische studie".

DISCUSSIE

Ir C. BIEMOND: Geeft de locale en stationnaire meting geen aanleiding tot het meten van minder extreme waarden dan theoretisch nodig is? De waarschijnlijkheid van het optreden van een zekere regenval zal voor een bepaald oppervlak anders zijn dan voor een enkel punt.

ANTWOORD: Dit is heel goed mogelijk. We moeten daarom vele pluviografen opstellen. Het K.N.M.I. is bezig met een onderzoek op dit gebied, met name ten aanzien van regenval met grote etmaalsommen (waarnemingen met gewone regenmeters). (Men zie ook R. D. FLETCHER: A relation between maximum observed point and areal rainfall values. *Transactions, Am. Geophysical Union, Vol. 31* No 3, June 1950, blz. 344—348).

Ir P. J. WEMELSFELDER: Door de inleider werd op grond van een wiskundige bewerking een extrapolatie toegepast, die als zodanig een veel geringere nauwkeurigheid heeft. Dit kan aanleiding geven tot misverstand, omdat ten aanzien van extrapolatie niet de wiskundige bewerkingsmethoden doch uitsluitend de duur en de nauwkeurigheid der waarnemingen zelf beslissend zijn. Inleider echter past een zeer grote extrapolatie toe (20 op 200 jaar), doch hult deze in de sluier van een exact schijnende manipulatie. Ik zou er de aandacht op willen vestigen, dat desondanks deze extrapolatie in hoge mate speculatief blijft.

ANTWOORD: Spreker is het met de vragensteller natuurlijk eens, dat men bij extrapolatie ver buiten het gebied der waarnemingen (en hoe verder, hoe meer) uitermate voorzichtig en kritisch moet zijn. Dat neemt niet weg, dat de ene extrapolatie meer geoorloofd (minder onbetrouwbaar) is dan de andere. Vooral wanneer men zulk een bewerkingsmethode weet te vinden, dat men zeker weet, dat de kromme, waarmede men wil extrapoleren, meer en meer recht wordt naarmate men sterker extrapoleert, is men „zeer gelukkig". De curve log $\bar{T}$ tegen u (zie blz. 28 en 31) voldoet aan deze zeer prettige voorwaarde. Wanneer men bovendien een prachtige aansluiting kan vaststellen (kan berekenen, met bepaalde „goedheidstests") tussen de curve en de door het „experiment" gegeven punten, dan geeft dit nog meer waarborgen, dat men een „zeer waarschijnlijk juist verband" tussen $\bar{T}$ en u gevonden heeft. Met nadruk plaatst inleider hier aanhalingstekens. Hij heeft immers in zijn voordracht willen uitdrukken hoe noodzakelijk het is de betrouwbaarheid in ligging der $\bar{T}$ — u — curve te beoordelen, zo mogelijk te berekenen. Vele auteurs zwijgen hierover en maken dan brokken. Die betrouwbaarheid is dikwijls gering door een veel te korte waarnemingsperiode. Dit doet bij inleider zich wel niet in zulk een verontrustende mate voor als elders (spreker had geen gelegenheid de publicaties van anderen te bespreken), maar toch ook! In dat opzicht is voorzichtigheid geboden, juist zoals Ir WEMELSFELDER vertelt. Nogmaals: een statistische berekening van de betrouwbaarheid der uitspraken (de tegenwoordige statistica kent vele methoden) is hoogst noodzakelijk èn om te kunnen overzien wat eigen uitkomsten waard zijn èn om een zinvolle vergelijking met andere uitkomsten te kunnen maken.

III. DROOGTEPERIODEN

G. A. LENSTRA

Meteorologische Dienst voor de Burgerlijke Luchtvaart van het K.N.M.I. te Schiphol

De vraag, wat nu eigenlijk onder een droogteperiode moet worden verstaan, werd in Engeland reeds in 1868 gesteld, doch het duurde ruim 10 jaar eer SYMONS hierop een antwoord gaf; de door hem gegeven definities werden in 1887 op een paar punten gewijzigd, zodat zij thans luiden als volgt:

Type I. Een periode van 15 of meer opeenvolgende dagen, met hoogstens 0,1 mm neerslag per dag;

Type II. Een periode van 29 of meer opeenvolgende dagen, waarin de gemiddelde regenval 0,01 inch per dag niet overschrijdt.

De ingenieurs, die zich bezig houden met waterleiding-problemen en toezicht op polders enz., definiëren een droogteperiode dikwijls als een tijdvak van drie of meer opeenvolgende maanden, waarin de gemiddelde regenval minder bedraagt dan de helft van de normale. In dit overzicht is de zojuist genoemde definitie echter buiten beschouwing gebleven.

Aan de definitie van type I kleven bezwaren. Daar het hier gaat om het meten van een kleine hoeveelheid, wordt niet alleen een grote nauwkeurigheid van de waarnemer vereist, doch de mogelijkheid van het optreden van instrumentele fouten bestaat bovendien. Vandaar dat er behoefte was aan nog een andere definitie, welke in 1919 werd ingevoerd en wel:

Type III. Een periode van 15 of meer opeenvolgende dagen met hoogstens 0,9 mm neerslag per dag.

Mist, dauw, instrumentele en persoonlijke fouten zijn hierbij van ondergeschikt belang; zelfs dagen met kleine buien en met wat motregen kunnen deel uitmaken van een aldus gedefinieerde droogteperiode.

In Duitsland sloot HELLMANN zich in grote lijnen aan bij de definities van de typen I en II; hij stelde echter voor beide perioden een minimum van 14 dagen vast.

Om een indruk te krijgen, hoe het is gesteld met droogteperioden van de bovengenoemde typen in ons land, zijn uit de meteorologische stations van het K.N.M.I. gekozen, De Bilt, Den Helder, Groningen, Vlissingen, Winterswijk en Sittard, die als representatief voor hun omgeving worden beschouwd en met behulp van de regencijfers zijn de droogteperioden opgezocht. Het blijkt, dat de beide kuststations Den Helder en Vlissingen een groter aantal droogteperioden geven dan de andere vier stations; de onderlinge verschillen in de op deze wijze tot stand gekomen twee groepen zijn gering.

In onderstaande tabel is van beide groepen één station vermeld, bovendien is vermeld onder „combinatie" het aantal droogteperioden van de verschillende typen,

die tegelijkertijd op alle 6 stations zijn voorgekomen en daaronder bovendien het aantal, tegelijkertijd voorgekomen op minstens 5 van de 6 stations.

TABEL 1. Droogteperioden gedefinieerd volgens

Stations	Type I	Type II	Type III	Tijdvak
De Bilt	56	59	169	1867 t/m 1950
Vlissingen	85	84	219	1867 t/m 1950
Combinatie	4	17	37	1867 t/m 1950
Minstens 5 van de 6 stations . . .	14	25	72	1867 t/m 1950

Tabellen voor elk van de 6 genoemde stations, waarin per maand het aantal dagen is vermeld, dat in een droogteperiode type III is gevallen, geven enige trekken aan van het klimaat van ons land. Ter demonstratie is in onderstaande tabel onder kuststations het gemiddelde van de aantallen van Den Helder en Vlissingen weergegeven, onder continentale stations dat van Sittard en Winterswijk.

TABEL 2.

	Jan.	Febr.	Mrt.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Kuststations	290	429	497	443	424	480	509	325	300	201	175	209
Continentale stations .	330	303	355	302	298	285	234	233	249	191	164	229

Zeer kleine verschillen en de laagste getallen worden in November en October waargenomen. Het grootste verschil levert Juli op, bij de kuststations wordt het grootste aantal geteld, bij de continentale stations wordt een relatief minimum aangetroffen, dat veroorzaakt wordt door het veelvuldiger optreden van buien, waardoor menige droogteperiode, die wel op de kuststations wordt waargenomen, niet in het gebied verder landinwaarts wordt bemerkt. In December en Januari komen de grootste getallen bij de continentale stations voor. De strenge winters, die dikwijls in de droogteperioden zijn terug te vinden, duren in het Oosten van het land langer dan in het Westen. De maand Maart komt in beide groepen gunstig naar voren.

Een indeling naar maanden geeft slechts een globale indruk. Daarom is voor het station De Bilt nagegaan, hoeveel maal een zekere datum tijdens het tijdvak 1867 t/m 1950 deel uitmaakt van een droogteperiode type III.

De eerste twee weken van Januari vallen slechts zelden in een droogteperiode. In het tweede gedeelte van Januari en in de maanden Februari, Maart en April maken de daarin vallende dagen 10 à 13 keer(soms 9 of 14 en één maal 15 keer) deel uit van een droogteperiode. Tijdens de IJsheiligen valt een daling waar te nemen tot 7 à 8 keer, een snel herstel volgt tot 13 keer in begin Juni. Ook het midden van Juli

valt een vrij groot aantal keren in een droogteperiode (10 tot 13 keer). Een nieuwe opleving geeft eind Augustus tot begin September te zien, hoewel dan het aantal keren tot 9 beperkt blijkt. Ook in het midden van September en in dat van October komen dagen voor, die ten hoogste 9 keer deel uitmaken van een droogteperiode. In midden November vallen de dagen slechts 3 à 4 keer in een droogteperiode; deze getallen groeien daarna weer aan tot ten hoogste 12 op enige dagen voor Kerstmis; tijdens de laatste dagen van het jaar wordt dit getal weer gereduceerd op 4.

In zijn artikel „Hoogtepunten van de zomer", merkt Dr CANNEGIETER op, dat de hoogste temperaturen voorkomen eind Mei tot begin Juni, voorts in het midden van Juli en ten slotte eind Augustus, hetgeen in treffende overeenstemming is met het bovenstaande.

De in de aanhef genoemde definities hebben hetzelfde euvel, nl. dat zij zuiver statistisch zijn. Dit werd vooral in Duitsland gevoeld bij de voorlichting van de landbouw. Ook in het Nederlandse jaarboek van 1852 wijst BUYS BALLOT er op, dat het voor de plantengroei niet onverschillig is, hoe tijdens een periode van geringe regenval de vochtigheid, de temperatuur, de verdamping, de bodemgesteldheid e.d. zijn. Ook de hoogte van het terrein speelt uiteraard een belangrijke rol.

Verder is men het er nog niet over eens, welk type neerslag vooral een droge periode verstoort. Zijn dit buien, waarbij uit de regenmeter een grote hoeveelheid water wordt afgetapt, of is het juist motregen, waarbij een veel kleinere hoeveelheid wordt opgevangen? De redenering, die hierbij gevolgd wordt, kan men aldus formuleren. Bij een bui valt de neerslag in een beperkt gebied; veel water vloeit dadelijk weg; de lucht wordt spoedig weer droog en de zon maakt, dat de grond, die door de met kracht neergevallen regen is „aangestampt" en mede daardoor slechts tot een geringe diepte vochtig is geworden, spoedig weer geheel droog is.

Motregen daarentegen valt veelal over een uitgestrekt gebied, het vochtigheidsgehalte van de lucht is hoog en het water kan vrij diep in de grond doordringen, doordat de voortdurende bewolking verdamping tegenhoudt.

Een ander bezwaar tegen de bovengegeven definities van droogteperioden komt tot uiting in gevallen, dat het smeltwater uit een sneeuwdek de grond ten goede kan komen tijdens een periode, waarin geen neerslag valt.

Bovenstaande is voldoende om te begrijpen, dat men getracht heeft een andere definitie te vinden, waarbij men niet alleen op de gevallen hoeveelheid neerslag let, maar ook met andere omstandigheden rekening houdt.

Een schuchtere poging doet W. SCHMIDT met de invoering van de z.g. „Dürrezahlen". Hij hecht aan de eerste dag zonder neerslag de waarde 1, aan de tweede dag het gewicht 2; een regenloze tijd van n dagen krijgt op deze wijze de waarde $\frac{n(n+1)}{2}$. Tezamen met de maandsommen en het aantal regendagen per maand kan men zich dan een goed overzicht van de droogte verschaffen.

KAMINSKY breekt met de zuivere neerslag-definities. Hij verplaatst het criterium naar de maximum temperatuur en de relatieve vochtigheid. KNOCHENHAUER heeft de

droogteperioden van 1934 voor Noord-Duitsland in deze zin onderzocht. Laatstgenoemde neemt aan, dat een droogteperiode begint op de dag, waarop de maximum temperatuur 3 à 4° C hoger is dan op de vorige dag, terwijl de maximumtemperatuur van de daaropvolgende dagen (minstens 3) hoogstens 2° C mag verschillen met die van de begindag. Het is opmerkelijk, dat de relatieve vochtigheid tegelijk met bovengenoemde sprong van de maximumtemperatuur eveneens sprongsgewijze daalt. Daarom is hier als tweede voorwaarde voor het bestaan van een droogteperiode gesteld, dat de relatieve vochtigheid tijdens het middaguur van de hierboven door hem aangegeven dagen niet meer dan 40% bedraagt. Een periode wordt echter pas als geëindigd beschouwd, indien de maximumtemperatuur de bovengenoemde grenzen meer dan twee dagen overschrijdt en de relatieve vochtigheid op het middaguur gedurende diezelfde termijn boven de 50% stijgt.

De verschillende resultaten, die met deze definities verkregen worden, blijken ten duidelijkste uit een kaart voor 1934, waarop KNOCHENHAUER lijnen trekt, die gelijke waarden, verkregen volgens de definities van HELLMANN, SCHMIDT en KAMINSKY, met elkaar verbinden.

Tussen de kaarten, die de gezamenlijke duur van de droogteperioden in 1934 volgens HELLMANN en die van de „Dürrezahlen" aangeven, blijkt in grote trekken overeenstemming te bestaan. De 300-lijn van SCHMIDT b.v. valt ongeveer samen met de lijn van 15 achtereenvolgende dagen droog volgens HELLMANN, de 400- en 500-lijn resp. met die van 20 en met die van 30 dagen.

De kaarten, waarop de lijnen zijn getekend, verkregen volgens de temperatuurvochtigheidsdefinitie, wijken hiervan echter aanzienlijk af. Zij stemmen daarentegen overeen met kaarten, waarop de opbrengst van de oogst is aangegeven; gebieden die vele keren hebben geleden door een droogteperiode, corresponderen met gebieden, waarvan de opbrengst van de oogst beneden normaal blijkt te zijn.

Het schijnt dus, dat deze laatste definitie, wat de landbouw aangaat, beter is dan de beide andere, doch om verdere conclusies te trekken zal het goed zijn meer jaren op deze manier te onderzoeken, aangezien een goede opbrengst van de oogst niet alleen van het al of niet voorkomen van droogteperioden afhankelijk is.

Uit meteorologisch standpunt bezien, zou deze methode o.i. voor de landbouw nog betere resultaten opleveren, indien men dagelijks door middel van een staffelmethode de inkomsten (neerslag, dauw, mist e.d.) en de uitgaven (verlies door verdamping) zou verwerken. Zijn de uitgaven een aantal opeenvolgende dagen groter dan de inkomsten en wordt een bepaald bedrag overschreden, een bedrag dat afhankelijk gesteld kan worden van de grondsoort en de hoogte van het terrein, dan bestaat de mogelijkheid met behulp van de genoemde aangegeven voorwaarden een droogteperiode te definiëren.

Het is mij gebleken, dat SONNEVELD (Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek te Wageningen) berekeningen uitvoert, die een soortgelijke methode tot grondslag hebben. Deze methode van THORNTHWAITE berust op een deficit- en surplusmethode, waarbij de voorraad water in de bouwvoor geschat wordt aequivalent te zijn met 100 mm neerslag; eerst wanneer deze hoeveelheid is opgebruikt begint het acute deficit.

Het onderzoek om met enige zekerheid een droogteperiode aan te kondigen, voordat deze is begonnen, kan op diverse manieren plaatsvinden.

Een methode is met behulp van perioden, een andere is b.v. te trachten langs synoptisch-meteorologische weg te komen tot een verwachting van b.v. vijf dagen vooruit. Hoewel het steeds mijn bedoeling is geweest, de laatstgenoemde werkwijze te volgen, is toch ter wille van de volledigheid enige aandacht besteed aan het opsporen van periodiciteit in droogteperioden o.a. naar de zonnevlekkenperiode en naar een periode van 27 maanden.

Worden de droogteperioden per 10 à 11 jaar gegroepeerd, dan is wat de verdeling van deze perioden over de gekozen tijdvakken betreft, enige overeenkomst te constateren, doch niet een zodanige, dat deze verdelingen zijn te gebruiken voor een verwachting.

Indien de droogteperioden in groepen van 27 maanden worden verdeeld, vertoont een kromme, met behulp van voortschrijdende gemiddelden verkregen, twee dalen en twee toppen.

Met behulp van de bedoelde verdelingen en de genoemde kromme kan af en toe wel eens een aanwijzing worden verkregen, hoe het met de droogteperioden in de komende maanden zal zijn gesteld, doch het is geen verwachting met voldoende houvast.

Een studie van droogteperioden met behulp van weerkaarten komt neer op het nagaan van de afwijkingen in de algemene circulatie van de atmosfeer. Het blijkt, dat droogteperioden in Nederland samengaan met een hogedrukgebied in de omgeving van ons land. Er zijn verschillende van dergelijke typen luchtdrukverdelingen te onderscheiden; enkele van de belangrijkste worden hieronder behandeld.

1. Hogedruk boven Midden-Europa, centrum boven West-Europa.
   Lagedruk boven de Noordelijke IJszee (Oostkust van Groenland).
   In onze omgeving is de grondwind dan NE tot E; deze drukverdeling kan in alle maanden van het jaar een droogteperiode geven, doch niet in de zomermaanden.

2. Hogedruk boven Oost-Europa, centrum boven West-Rusland, soms ook Scandinavië.
   Lagedruk boven de Noordelijke Atlantische Oceaan (S.W. van IJsland), eventueel een vore naar de Middellandse Zee.
   Dit is een drukverdeling, die vooral in de winter voorkomt en in ons land een koude E of NE wind geeft.

3. Een wig van hogedruk van de Azoren naar Midden-Europa.
   Lagedruk boven N.W.-Rusland.
   Een dergelijke zomersituatie geeft in Nederland hoge temperaturen.

4. Een wig van hogedruk van de Azoren naar Midden-Europa, een hogedrukgebied boven Oost-Europa en een rug, die deze twee gebieden verbindt.
   Lagedruk boven de Noordelijke IJszee.
   Soms is het hogedrukgebied bij de Azoren het sterkst ontwikkeld, het lagedrukgebied ligt dan in de omgeving van IJsland; een andere keer heeft het hogedruk-

gebied boven Oost-Europa de grootste drukwaarden, het gebied met lage luchtdruk ligt dan bij het N.W. van Rusland.
Deze tussenvorm komt het meeste voor in de overgangsmaanden.

Het blijkt, dat de hoofdoorzaak voor het optreden van een langdurige droogte gelegen is in de verplaatsing van het hogedrukgebied bij de Azoren. Voor de versterking en het stationnair zijn van het hogedrukgebied in de niet-zomermaanden is het gelijktijdig aanwezig zijn van een drukverhogingstendenz uit de Arctische gebieden van het grootste belang.

Een luchtdrukverdeling, genoemd onder de punten 1 en 2, ontwikkelt zich nl. meestal op de volgende wijze:

Er vindt een verhoging van de luchtdruk plaats in het gebied van het Azorenmaximum, dat zich uitstrekt tot Z.W.-Europa, terwijl tegelijkertijd een hogere druk dan normaal aanwezig is in de Arctische gebieden. Ook op twee plaatsen is de druk beneden normaal, nl. in Rusland en op de Noordelijke Atlantische Oceaan. Daarna verplaatsen en verenigen zich de beide gebieden van positieve anomalie (dus het Azoren-maximum en het Arctische maximum), hetgeen verhoging van de luchtdruk boven Midden-Europa tot gevolg heeft. Onder gunstige thermische omstandigheden (lage temperatuur in de onderste lagen van de atmosfeer) breidt het hogedrukgebied zich uit naar het oosten.

De ontwikkeling van de luchtdrukverdeling, genoemd onder de punten 3 en 4 is als volgt: enige tijd van te voren is de omgeving van het Azoren-maximum gekenmerkt door een sterk verhoogde luchtdruk, terwijl tegelijkertijd een drukverlaging heeft plaatsgevonden in het gebied van het IJslandse minimum. Het Azoren-hogedrukgebied verplaatst zich door herhaalde „uitvallen" in de richting van Midden-Europa.

Op het waarom genoemde luchtdrukverdelingen zich vormen als hierboven is aangegeven, is op dit ogenblik nog geen afdoende antwoord te geven; het is wel in studie.

DISCUSSIE

W. v. d. Bijl: Spreker gaat nader in op de methode van onderzoek, die is gevolgd bij het opsporen naar periodiciteit van droogteperioden. Hij vraagt zich af of niet naar een bepaald resultaat is toegewerkt en in hoeverre hier sprake is van toeval.

Antwoord: De inleider wil niet de bijzondere aandacht vragen voor het verloop van de krommen. Hij heeft methoden gebruikt, waarvan hij kon vermoeden, dat een eventueel positief resultaat zo duidelijk mogelijk zichtbaar zou worden.

D. J. Bouman: Mag men de verplaatsing van de HD bij de Azoren los van de verplaatsingen van andere actiecentra op het Noordelijk halfrond beschouwen? Zou het niet kunnen zijn, dat men de verplaatsing van enig centrum kan beschouwen als een indicatie, dat ook het Azoren—HD gaat trekken?

Antwoord: Uit getekende circumpolairkaarten (weerkaarten van het gehele Noordelijk halfrond) is tot op heden weinig verband gevonden tussen de hogedrukgebieden, die op deze kaarten voorkomen.

Ir P. DE GRUYTER: Bij alle typen is een bepaalde maat voor de hoeveelheid neerslag *per dag* genomen. Zou het niet beter zijn een bepaalde hoeveelheid neerslag per periode als maatstaf te nemen?

ANTWOORD: De inleider verwijst de vraagsteller naar droogteperiode type II. Voor de landbouw is z.i. de door hem genoemde staffelmethode volgens de aanname van THORNTHWAITE de beste.

Dr C. LEVERT: Wordt de weersverwachting louter verkregen door extrapolatie van de klimatologische beschrijving van het verleden of is zij mede gebaseerd op een zekere theorie?

D. A. DE VRIES: Heeft spreker theoretische aanknopingspunten bij het voorspellen van de ontwikkeling en de verplaatsing van hogedrukgebieden?

ANTWOORD op beide vragen: De weinig resultaat opleverende „periode-methode" zou men inderdaad een extrapolatie kunnen noemen; de inleider heeft hier niet naar een „theorie" gezocht, hetgeen hij wil trachten te doen bij zijn eigenlijke onderwerp, het verwachten van droogteperioden langs synoptisch-meteorologische weg.

Dr C. LEVERT: Vanwaar de grens van 0,9 mm per dag bij type III?

ANTWOORD: De uit Engeland afkomstige grens van 0,9 mm per dag was vroeger van belang, omdat neerslaghoeveelheden van 0,9 mm of minder deel uit maakten van de verwachtingsterminologie „weinig of geen regen".

Prof. Ir J. W. THIERRY: Hoe vallen de maximale droogteperioden ten opzichte van de maximale zonnevlekkenjaren?

ANTWOORD: De moeilijkheid bij het beantwoorden van deze vraag is, wat wordt verstaan onder de maximale droogteperioden? Met een spreiding van ca 1½ jaar voor of na een minimum-zonnevlekkenjaar komt een jaar voor, waarin geen droogteperioden zijn opgetreden (één uitzondering). Met een spreiding van ca 1 jaar voor of 4 jaar na een maximum-zonnevlekkenjaar komt een jaar voor, waarin verscheidene droogteperioden van meer dan één type voorkomen.

IV. HET WERKEN MET FREQUENTIEVERDELINGEN

B. VISSER

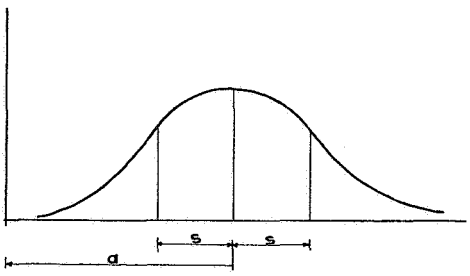
Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland, 's-Gravenhage

Het werken met frequentieverdelingen is voor velen onzer een alledaags werk. Het is ook een onderwerp, waar grote geleerden zich aan hebben gewijd en dat meerdere malen aanleiding gaf tot interessante besprekingen tussen ingenieurs. Na het vele, dat er reeds over geschreven is, is het moeilijk om er nog veel nieuws over te vertellen. Maar omdat onder de deskundigen op dit gebied toch nog wel eens verschil van mening bestaat, hebben we het aangedurfd hier Uw aandacht voor te vragen.

Ik wilde het onderwerp zo algemeen mogelijk behandelen. In verband met de beschikbare tijd moeten we ons grote beperkingen opleggen. Ik moet een keuze doen uit de vele methoden om frequentieverdelingen in formule te brengen. Ik zal mij tot de hoofdzaken beperken en verschillende interessante details onbesproken laten. Ik zal nog al eens gebruik maken van zaken, die U in de literatuur uitvoerig kunt vinden en zal hierop slechts zover ingaan, als nodig is, om het U mogelijk te maken de draad van het betoog te volgen.

Ik wil er nu reeds op wijzen, dat de manier, waarop ik dit onderwerp zal behandelen, grote overeenkomst vertoont met de gedachtengang van FISHER in b.v. „Statistical Methods for Researchworkers". Dan heb ik nog een vriendelijk verzoek: Wanneer ik straks enige ingewikkelde formules laat zien, wilt U zich hierdoor dan niet laten afschrikken. Het gaat in deze voordracht in hoofdzaak om de invloed van de enkele constanten, die er in voorkomen. Het is mogelijk de draad te volgen, ook zonder een volledig inzicht in de formules.

FIG. 1



GAUSZ

$$h_x = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{s}\right)^2}$$

a = gemiddelde *(mean - moyenne)*

s = spreiding *(dispersion - l'écart-type)*

Laten we beginnen met de frequentieverdeling volgens GAUSZ (fig. 1). Niet omdat deze voor de hydrologen van zo groot belang is, maar omdat we er allen min of meer mee vertrouwd zijn en omdat dit wel het eenvoudigste geval is. Dan kan ik aan dit voorbeeld vast de gedachtengang tonen, die we ook bij de meer gecompliceerde gevallen zullen volgen.

Wanneer we vele malen een lengte van ongeveer 1000 cm gemeten hebben, dan kunnen we van de meetresultaten een frequentieverdeling maken. Daartoe gaan we de resultaten in klassen indelen van b.v. 1000 cm, 1001, 1002 cm, enz. In de klasse 1000 cm b.v. vallen alle metingen tussen de 999,5 en 1000,5 cm; in klasse 1001 b.v. alle metingen tussen de 1000,5 en 1001,5 cm, enz. Nu zetten we op een of andere schaal op een horizontale as de lengten 998, 999, 1000, 1001 cm enz. uit en daarbij in verticale richting de frequentie van elke klasse. We krijgen zo een trapjeslijn, een z.g. histogram. Zoals U weet kunnen wij deze verdeling kenmerken door de statistische begrippen gemiddelde en spreiding. Dit is ook een methode om het resultaat van de metingen weer te geven. Het is zelfs zo, dat wanneer wij de resultaten van verschillende metingen willen combineren of vergelijken, we hiertoe gebruik maken van het gemiddelde en de spreiding. Indien men ook nog het totaal aantal metingen heeft, is het resultaat van de metingen volkomen gekarakteriseerd. Want als we omgekeerd van een dergelijke serie metingen de 3 genoemde constanten hebben, dan kunnen we met behulp van de formule van GAUSZ de frequentieverdeling weergeven.

In dit geval konden we van te voren op grond van bepaalde theoretische overwegingen aannemen, dat de verdeling ongeveer volgens de formule van GAUSZ moest zijn. Doch dit is niet altijd het geval.

Stel nu eens, dat men een serie waarnemingen heeft. Men groepeert ze en maakt een frequentieverdeling. Men berekent gemiddelde en spreiding.

Men kan zich nu afvragen: klopt de proefondervindelijke frequentieverdeling behoorlijk met de theoretische, zoals die wordt weergegeven door de formule van GAUSZ?

Eerst wil ik aan een eenvoudig voorbeeld over het werpen met dobbelstenen laten zien, hoe men dergelijke problemen aanpakt.

Aantal stenen met 5 of 6	Waargenomen frequentie	Verwachte frequentie m	Verschil x	$\frac{x^2}{m}$
0	185	202,75	17,75	1,554
1	1149	1216,50	67,50	3,745
2	3265	3345,37	80,37	1,931
3	5475	5575,61	100,61	1,815
4	6114	6272,56	158,56	4,008
5	5194	5018,05	175,95	6,169
6	3067	2927,20	139,80	6,677
7	1331	1254,51	76,49	4,664
8	403	392,04	10,96	0,306
9	105	87,12	17,88	3,670
10	14	13,07	0,93	
11	4	1,19	2,81	0,952
12	—	0,05	0,05	
	26306	26306,02		35,491

Men ziet hier een tabel, die ik, enigszins gewijzigd, overgenomen heb uit het reeds genoemde „Statistical Methods" van FISHER. Deze heeft betrekking op het resultaat van 26 306 worpen met 12 dobbelstenen. Gelet is op het boven komen van

5 of 6 ogen. De kans hierop is indien de stenen goed zijn natuurlijk 1/3. In de 2e kolom ziet men, dat bij 185 worpen geen 5 of 6 ogen boven zijn gekomen;

bij 1149 worpen kwam één steen met 5 of 6 ogen boven;

bij 3265 worpen kwamen 2 stenen met 5 of 6 ogen boven, enz.

Echter kan men ook op grond van de veronderstelling, dat de kans op 5 of 6 ogen 1/3 is, *berekenen* hoeveel worpen men kan verwachten met 0 stenen met 5 of 6 ogen boven,
hoeveel worpen met 1 steen met 5 of 6 ogen boven;
hoeveel worpen met 2 stenen met 5 of 6 ogen boven, enz.

De berekening geeft de z.g. binominale verdeling; het resultaat van de berekening ziet men in de derde kolom.

Dat de 2e en 3e kolom niet geheel kloppen, is niet te verwonderen.

Maar nu gaat het erom, of men op grond van de verschillen tussen beide kolommen kan zeggen, dat de veronderstelling van de binominale verdeling aannemelijk is of niet. Daartoe berekenen we eerst de verschillen, x in de 4e kolom; vervolgens $\frac{x^2}{m}$ in de 5e kolom. $\varkappa^2 = \Sigma \frac{x^2}{m}$. En nu hebben we in $\varkappa^2$ een maatstaf, die ons kan helpen bij onze oordeelvorming. In het gegeven geval is $\varkappa^2 = 35{,}491$.

FISHER geeft in zijn genoemde boek een tabel, waaruit we kunnen zien, dat de kans op de gevonden waarde van $\varkappa^2$ of een nog grotere, indien de veronderstelling van de gegeven binominale verdeling juist is, 0,0001 is. Op grond van dit laatste getal verwerpen we de veronderstelling.

De aard van dit oordeel kan ik het beste aantonen aan een ander eenvoudig voorbeeld. Stel eens, dat ik een dobbelsteen 10 × werp en elke keer komt de 6 boven. Dan is ons oordeel natuurlijk: deze steen is vals. Ook in dit geval is, wanneer de steen goed zou zijn, de kans op juist dit verschijnsel zeer gering.

Waren de afwijkingen kleiner geweest en hadden we voor $\varkappa^2$ b.v. 8 gevonden, dan had de genoemde tabel van FISHER ons geleerd dat, indien de veronderstelling juist was, de kans op 8 of meer dan 8 een half was. Op grond van dit getal hadden we dan kunnen concluderen, dat de veronderstelde binominale verdeling aannemelijk was.

Het gaat er dus om, dat wij in de gevonden verschillen tussen een theoretische frequentiekromme en een proefondervindelijke een maatstaf hebben om de aannemelijkheid van de theoretische frequentiekromme te toetsen. Op een dergelijke wijze kunnen we ook beoordelen, of we een gegeven frequentieverdeling kunnen weergeven met behulp van de formule van GAUSZ.

De hydroloog interesseert zich dikwijls voor de frequenties van de extreme waarden; dat is b.v. vanmorgen nog gebleken. Hij zal zich dus afvragen: geeft de formule in het gebied van de extreme waarden een goed beeld van de frequentie?

Tot mijn spijt moet ik zeggen, dat de $\varkappa^2$-methode ons hierbij niet helpt. Om de methode toe te passen moet men nl. een indeling van de waarnemingen in groepen

maken, zodanig, dat in elke groep een voldoend aantal waarnemingen voorkomt. FISHER geeft aan b.v. niet minder dan 5. Ik hoop aan het eind nog even nader op deze kwestie in te gaan.

De verdeling van GAUSZ is symmetrisch en loopt van $-\infty$ tot $+\infty$. De verdelingen, die de hydroloog ontmoet, zijn meestal meer gecompliceerd. Zij zijn niet symmetrisch en hebben dikwijls een onderste en bovenste grens.

U ziet hier enige typen (fig. 2). Dikwijls beginnen ze met een frequentie 0, bereiken een maximum en dalen weer tot nul, ofwel ze beginnen met een maximum en dalen continu.

PEARSON

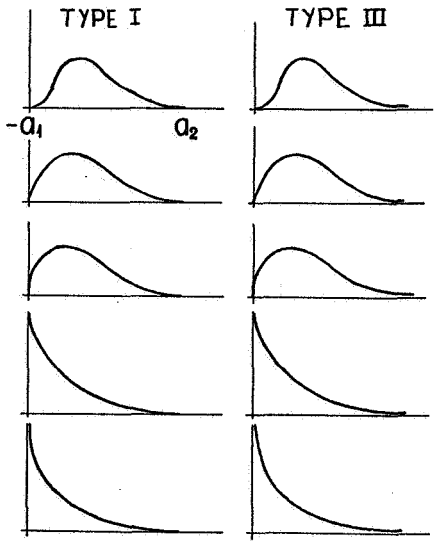


FIG. 2

Wil men dergelijke verdelingen karakteriseren, dan kan men niet volstaan met gemiddelde en spreiding, doch men maakt b.v. gebruik van de statistische begrippen „scheefheid" en „exces". Ik zal er niet op ingaan, hoe men deze bepaalt doch slechts opmerken, dat men hierbij gebruik maakt van de z.g. momenten. Het 3e moment t.o.v. een punt van de horizontale as verkrijgt men door sommatie van de producten van frequentie en derde macht van de afstand tot dat punt.

Volgens PEARSON (in b.v. „Frequency-curves and Correlation" door W. PALIN ELDERTON) moet de theoretische frequentiekromme voor een of andere waarde van x, b.v. $x = c$, een horizontale raaklijn hebben, dus voor $x = c$ is $\frac{dy}{dx} = 0$. Ook voor $y = 0$ moet $\frac{dy}{dx} = 0$ zijn.

De vergelijking $\frac{dy}{dx} = \frac{y(x-c)}{f(x)}$ voldoet hieraan. f (x) kan men ontwikelen volgens machten van x. Zo vindt hij de formule $\frac{dy}{dx} = \frac{-(x-c)\,y}{c_0 + c_1x + c_2x^2 + \ldots\ldots}$

Naarmate men meer constanten invoert, is een betere aanpassing van de theoretische kromme aan de experimentele frequentieverdeling mogelijk, doch is de hoeveelheid rekenwerk groter.

Indien men zich beperkt tot c, c_0, c_1 en c_2, dan kan men door integratie van de

differentiaal vergelijking komen tot 7 vormen voor de formule van de frequentieverdeling. De belangrijkste ziet U hier, nl. type I:

$$\text{formule } y = y_0 \left(1 + \frac{x}{a_1}\right)^{m_1} \left(1 - \frac{x}{a_2}\right)^{m_2}$$

en type III:

$$\text{formule } y = y_0 e^{-\gamma x} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\gamma a}.$$

U ziet, welke vorm in verschillende gevallen de frequentiekromme kan aannemen, practisch alle vormen, die voor ons van belang zijn.

In de differentiaal vergelijking kwamen 4 constanten voor. In de frequentievergelijking volgens type I zelve komen 5 constanten voor, die men uit de waarnemingen kan afleiden. Dit is niet zonder meer uit de gegeven formule te zien. Tussen a_1, a_2, m_1 en m_2 bestaat een verband; y_0 is nogal gecompliceerd.

Ik zal U niet vermoeien met de bepaling van de laatstgenoemde grootheden. Zij worden voor type I afgeleid uit het gemiddelde $= \alpha$, de spreiding $= \mu_2$ het 3e en 4e moment t.o.v. het zwaartepunt $= \mu_3$ en μ_4 en de totale frequentie $= N$. De N heeft dus geen invloed op de relatieve frequentie. Het 3e (4e) moment is de som van de producten van de frequentie en de 3e (4e) macht van de afstand tot het zwaartepunt.

Dus: uitgaande van een aannemelijke veronderstelling voor de formule van de theoretische frequentielijn en de getallen α, μ_2, μ_3, μ_4 en N, die we uit de waarnemingen afleiden, vinden we een formule voor de frequentieverdeling.

Evenals bij de binominale verdeling en de verdeling van GAUSZ kunnen we met de $\varkappa^2$-methode weer toetsen, of de gevonden formule voor de frequentieverdeling inderdaad aannemelijk is.

Ik wil nu nog even nader ingaan op het aantal constanten, dat de formule bevat.

Een gebruikelijke statistische methode om een verdeling te kenmerken is hiervan te geven het gemiddelde, de spreiding, de scheefheid en het exces. De laatste 2 hangen af van het 3e en het 4e moment.

Wanneer men een reeks waarnemingen doet, dan komen hierin altijd onregelmatigheden voor, die een gevolg zijn van de beperktheid van het aantal waarnemingen. Het hieruit afgeleide gemiddelde en de spreiding zijn over het algemeen wel betrouwbare waarden. Het 3e en vooral het 4e moment zijn minder betrouwbaar. Dit is ook zonder ingewikkelde statistische beschouwingen te begrijpen. Bij het 3e en 4e moment is de invloed van de extreme waarden buitensporig groot, omdat deze met de 3e en 4e macht van de afstand tot het zwaartepunt vermenigvuldigd worden. Daarom heeft het ook in het algemeen geen zin om in de formule van PEARSON verder te gaan dan c_2, en b.v. nog een c_3 of c_4 in de formule op te nemen.

We zien, hoe de extreme waarden een rol spelen bij het opstellen van de formule. Zij zullen vooral de wijze bepalen, waarop de lijn de x-as nadert. Omdat het 3e en 4e moment niet zo betrouwbaar zijn, moet men voorzichtig zijn met dit deel van de frequentiekromme.

Een bezwaar is, dat deze methode veel cijferwerk kost. Om de constanten voldoende nauwkeurig te bepalen, moet men met getallen van 7 cijfers werken. Bovendien is het moeilijk werk. Men moet eigenlijk de hele theorie goed in zijn hoofd hebben.

In sommige gevallen kan men met minder rekenwerk volstaan. B.v. wanneer men voor de onderste en bovenste grens op grond van logische veronderstellingen bepaalde waarden mag aannemen.

Samenvattend kunnen we zeggen:

De methode van PEARSON is geschikt om hydrologische frequentieverdelingen in formule te brengen. Zij kost nogal veel rekenwerk. Beter inzicht in de frequenties van de extreme waarden geeft ze niet.

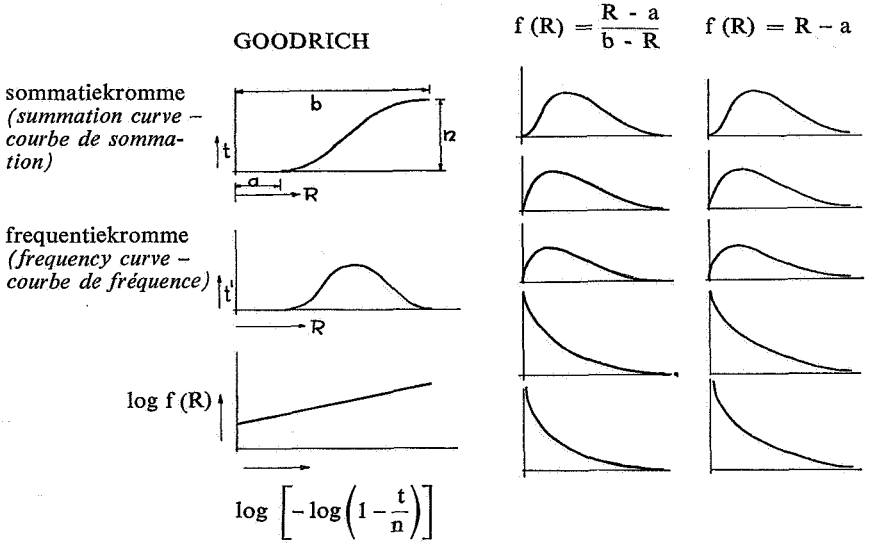


FIG. 3

Als grafische methode wil ik die van GOODRICH behandelen. Men kan een uitvoerige beschrijving met vele voorbeelden vinden in het Augustusnummer van de „Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Papers and Discussions 1926" door R. D. GOODRICH onder de titel „Straight line plotting of skew frequency data" en in *De Waterstaatsingenieur* van 1931 No's 1, 2 en 3 door Prof. Ir S. H. A. BEGEMANN onder de titel „Toepassing van de waarschijnlijkheidsrekening op hydrologische waarnemingen".

In tegenstelling tot PEARSON, die van de differentiaal vergelijking van de frequentie-kromme uitgaat, gaat GOODRICH uit van de vergelijking van de sommatiekromme. Hij zegt hiervan, dat hij hiertoe volgens een zuiver empirische methode is gekomen.

Het is U natuurlijk bekend, dat men bij een frequentiekromme een sommatiekromme kan construeren. Men verkrijgt deze door het oppervlak links van een abscis

op te meten en dit bij deze abscis als ordinaat uit te zetten. GOODRICH veronderstelt, dat de formule voor de sommatiekromme de algemene gedaante heeft:

$$t = n\left[1 - 10^{-h}\{f(R)\}^{c}\right].$$

De algemene gedaante van $\left\{ f(R) \right\}^{c}$ is:

$$\frac{(R-a)^{c}}{(b-R)^{d}}$$

Van belang zijn alleen de volgende gevallen:

$$c = d; \left\{ f(R) \right\}^{c} = \left\{ \frac{R-a}{b-R} \right\}^{c}$$

$$d = o; \left\{ f(R) \right\}^{c} = (R-a)^{c}$$

$$d = o \text{ en } a = o; \quad f\{(R)\}^{c} = R^{c}.$$

Voor $R = a$ is $t = o$; voor $R = b$ is $t = n$.

Hier is:

R = de grootte van de waarneming,
t = aantal waarnemingen, kleiner dan R,
t′ = frequentie,
n = totale frequentie,
a = kleinste R,
b = grootste R.

Door differentiatie naar R vindt men de formule voor de frequentiekromme.

U ziet in fig. 3, welk soort frequentiekromme men met deze methode behandelen kan. Evenals bij PEARSON bestrijken ze het gehele gebied, dat van belang is.

Heeft men een bepaalde waargenomen frequentieverdeling, die men in formule wil brengen, dan moet men natuurlijk de in dit geval toepasselijke constanten a, b, c en h bepalen.

Bij PEARSON werden de constanten door berekening bepaald uit het gemiddelde, de spreiding en het 3e en 4e moment.

GOODRICH maakt van een grafische methode gebruik; en hierin zit zijn grote verdienste.

De formule van GOODRICH kan men ook schrijven:

$$1 - \frac{t}{n} = 10^{-h\{f(R)\}^{c}} \text{ of:}$$

$$\log\left(1 - \frac{t}{n}\right) = -h\left\{ f(R) \right\}^{c} \text{ of:}$$

$$\log\left\{ 1 - \log\left(1 - \frac{t}{n}\right) \right\} = \log h + c \log\left\{ (f(R) \right\}.$$

Indien men punten uitzet met als abscissen $\log \left\{ -\log (1 - \frac{t}{n}) \right\}$ en als ordinaten de volgens GOODRICH bijbehorende waarden van $\log \left\{ f(R) \right\}$, dan krijgt men een een rechte lijn. Door dus $\frac{t}{n}$ en R op een bepaalde schaal uit te zetten, kan men de formule van GOODRICH voorstellen door een rechte lijn.

Heeft men een stel volgens de formule van GOODRICH bij elkaar behorende waarden voor $\log \left\{ - \log (1 - \frac{t}{n}) \right\}$ en $\log f(R)$ dan liggen deze punten op een rechte lijn; de waarde van c volgt dan uit de helling van de rechte en ook de waarde van h is te bepalen.

Indien men de volgens een experiment bij elkaar behorende waarden van f (R) en $\frac{t}{n}$ op de manier van GOODRICH tegen elkaar uitzet, dan krijgt men een aantal punten. Door hierdoor zo goed mogelijk een rechte lijn te trekken vindt men de formule van GOODRICH, die in dit geval toepasselijk is.

Nu maakt GOODRICH voor het uitzetten van de punten gebruik van in 2 richtingen gelijnd papier. Op de horizontale as worden voor opeenvolgende waarden van $\frac{t}{n}$ uitgezet $\log \left\{ -\log \left(1 - \frac{t}{n} \right) \right\}$, op de verticale as wordt log R uitgezet.

Indien nu f (R) de gedaante R heeft, dan vindt men, wanneer men volgens het experiment bij elkaar behorende waarden op dit papier uitzet, een aantal punten, die ongeveer op een rechte lijn liggen. Hieruit kan men dan concluderen, dat f (R) ook inderdaad deze vorm heeft. Men kan dan c en h uit de fig. bepalen en weet, dat $a = o$ is; in dit geval treedt de constante b niet op.

Over het algemeen zal dit niet het geval zijn. Dan moet men door proberen de waarde van a en b bepalen. Door het goed bekijken van de experimentele frequentiefiguur krijgt men wel een idee van de waarde van a en b; ook kan men uit de vorm van de lijn, die men krijgt als men R en $\frac{t}{n}$ op het papier van GOODRICH tegen elkaar uitzet, conclusies trekken over de waarde van a en b.

Op deze wijze gelukt het over het algemeen vrij vlug om de constanten te vinden.

U ziet wel, dat dit veel gemakkelijker gaat, dan bij PEARSON. PEARSON gaf een prachtig recept voor het bepalen van de constanten. Ook GOODRICH geeft een recept, maar U ziet, dat men hierbij afhankelijk is van de handigheid en het inzicht van degene, die dit recept toepast.

Het voordeel van PEARSON is slechts schijnbaar. De oorzaak is de onnauwkeurigheid van het 3e en 4e moment, in verband met de beperktheid van het aantal waarnemingen. Bij het domweg toepassen van het recept van PEARSON komt men dikwijls tot resultaten, die minder aannemelijk zijn wat betreft de frequenties van de extreme

waarden. Bij GOODRICH worden de frequenties, die men voor de extreme waarden vindt, beïnvloed door de toevallige waarden van de frequenties, die men vindt met een beperkt aantal waarnemingen en bovendien door het inzicht van degene, die de bewerking uitvoert.

Met behulp van de x^2-methode kan men de aanvaardbaarheid van de gevonden formule weer toetsen; voor de extreme waarden is dit weer niet mogelijk.

PEARSON geeft een recept voor het afleiden van de constanten uit gemiddelde spreiding, 3e en 4e moment. GOODRICH geeft een dergelijk recept niet. Omgekeerd geeft hij wel formules voor het gemiddelde, de modus, de scheefheid en de spreiding, uitgedrukt in de constanten.

Van belang is, dat ook GOODRICH evenals PEARSON een 4-tal constanten toepast. *We kunnen concluderen, dat men een frequentieverdeling dus even nauwkeurig kan aangeven met behulp van de gebruikelijke statistische grootheden, gemiddelde, spreiding, 3e en 4e moment, als met de formules van* PEARSON *of* GOODRICH.

Het verschil tussen de eerste methode en de laatste twee methoden is, dat aan de eerste manier geen veronderstelling omtrent de vorm voor de frequentieverdeling ten grondslag ligt en bij de twee laatste wel.

Ik wil nu nog iets zeggen over het extrapoleren van frequentiekrommen in het algemeen. Uit het voorgaande blijkt wel, dat dit een riskante wijze van werken is.

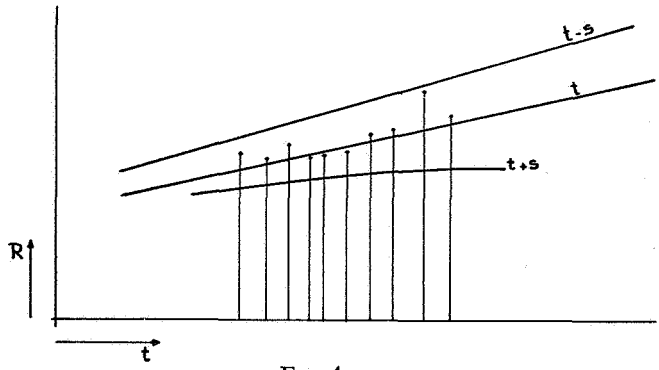


FIG. 4

Nu is vooral de methode van GOODRICH zo verleidelijk. Men vindt nl. een rechtlijnig verband tussen 2 grootheden. Men is dan geneigd te redeneren: waarom zou dat rechtlijnige verband ook niet opgaan buiten het gebied van de waarneming. En daar blijkt zo op het eerste gezicht niet veel tegen in te brengen. Toch moeten we hier even dieper op ingaan.

Stel eens, dat we b.v. 200 waarnemingen tot onze beschikking hebben en dat we hiervoor volgens de door GOODRICH aangegeven grafische methode een rechte lijn vinden. Letten we nu eens op het uiteinde van de lijn, waar deze in het gebied van de extreme waarde komt en in het bijzonder op hetgeen de 10 waargenomen uiterste waarden ons kunnen leren (zie fig. 4).

Voor de zeldzame gebeurtenissen is $s = \sqrt{m}$. We kunnen de laatste 10 waarnemingen elk afbeelden op ons frequentiepapier en bij elke R de bijbehorende waarde van t, $t + s$ en $t - s$ uitzetten.

De waarschijnlijkheidsrekening leert ons, dat de gevonden rechte aannemelijk is, wanneer ongeveer 2/3 van de 10 punten, die een extreme gebeurtenis afbeelden, binnen het gebied begrensd door de lijnen door t + s en door t — s liggen.

Maar nu zien we tevens, hoe andere lijnen, die niet te veel van de oorspronkelijke afwijken, ook aan deze toets voldoen. Men kan dus met de methoden van PEARSON of GOODRICH in het gebied van de extreme waarden geen beter inzicht in de frequenties krijgen. Men moet niet denken dat men extrapolatie kan rechtvaardigen met de formules van GOODRICH of PEARSON.

U zult opgemerkt hebben, hoe ik over het algemeen de zaken niet met de vereiste wetenschappelijke uitvoerigheid behandeld heb. Dat is in zo'n praatje van 40 minuten ook niet mogelijk. Ik heb slechts getracht in de mij toegemeten tijd iets van mijn persoonlijke visie mee te delen.

DISCUSSIE

Ir M. J. BOSSEN: De eenvoudigste frequentieverdeling is die van GAUSZ. Het weergeven van de waarnemingscijfers op het in de handel zijnde Gauszpapier geeft altijd een indruk van de frequentieverdeling. Met behulp van deze kromme kan toch veel beter geextrapoleerd worden? Waarom zou men dan Goodrichpapier nemen?

ANTWOORD: Het streven is om met behulp van een beperkte hoeveelheid waarnemingsmateriaal een zo goed mogelijk inzicht in een verschijnsel te verkrijgen. De methode van GAUSZ is, zoals ik heb uiteengezet, slechts geschikt voor een meer beperkt aantal verschijnselen, o.a., omdat de verdeling symmetrisch is. Het is niet logisch om een uitgesproken scheve verdeling in het schema van GAUSZ te wringen. De omvang van de hoeveelheid werk, aan de methode van GOODRICH verbonden, kan geen bezwaar zijn deze toe te passen.
Zoals ik reeds heb uiteengezet, is extrapoleren altijd riskant en wel te erger naarmate men een minder goed algemeen inzicht heeft.

Dr C. LEVERT:

1. In een der formules van GOODRICH zit zelfs de herhalingstijd bg $T = AR + B$ (GUMBEL, verdelingsfunctie) vervat, mits we maar kunnen bewijzen dat $c = o$ en $f(R)$ is lineair in R.
2. De formule van GOODRICH kan men schrijven in een vorm, die een dubbele logarithme bevat. Indien de rechte lijn van GOODRICH niet geheel vastligt, wordt de grootheid achter het log.log.-teken nog minder zeker.

D. J. BOUMAN: Het systeem van PEARSON en GOODRICH geeft een empirische frequentie-verdeling met kleine onregelmatigheden (hobbeltjes) in de kromme. Het is in het geheel niet zeker, dat de gevonden verdeling voldoet. Bij elke empirisch gevonden kromme behoort een gordel, waarbinnen de werkelijke verdeling met een kans van zo en zoveel procent moet liggen. Men streeft er nu naar de empirisch gevonden verdeling regelmatig te maken en dit gladstrijken moet men doen binnen deze gordel.

ANTWOORD: Met behulp van de x^2-methode kan men nagaan of de gevonden frequentie-verdeling aannemelijk is.

V. EEN NOMOGRAM VOOR DE KANSVERDELING VAN DE REGENVAL

W. C. VISSER

Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht

1. Inleiding

Bij het ontwerpen van plannen voor wateraanvoer, waterafvoer of wateronttrekking is het veelal van groot belang een inzicht te hebben in de mate waarin de regen invloed zal kunnen uitoefenen op de waterbalans, die men door de genoemde plannen in evenwicht wil trachten te houden. Bij het opstellen van deze plannen op het gebied van waterstaatswezen, cultuurtechniek of drinkwatervoorziening zal men steeds weer worden geconfronteerd met de vraag hoe snel of traag en tot welke grens de watervoorraad zal kunnen stijgen of dalen. Hieruit moet worden afgeleid, welke omvang men aan de maatregelen zal moeten geven, die tot doel hebben een eventuele waterovermaat af te voeren of een tekort aan te vullen.

Wat men voor deze plannen en projecten zal willen weten is, met welke hoeveelheden regen men zal moeten rekenen. Daartoe dient bekend te zijn, in welke tijd van het jaar de regenval bepalend is voor de plannen en over hoeveel uren of dagen men de gevallen regen zal moeten samennemen. Deze tijdvaklengte hangt samen met de grootte van de schommelingen in de watervoorraad die men kan toelaten. Op straten en pleinen bijvoorbeeld kan men maar zeer weinig water bergen, zodat voor deze vraagstukken zeer korte tijdvakken maatgevend zijn. Bij wateronttrekking aan de ondergrond kunnen veel grotere schommelingen in de watervoorraad worden aanvaard. Hier zal men van de vereffening van variaties in de regenval over lange tijdvaklengten gebruik kunnen maken.

Tenslotte zal men bij de plannen met een grootste of kleinste regenval rekening willen houden. Er zal echter zelden van een dergelijke grootste of kleinste regenval gesproken kunnen worden. Men dient daarom een uiterste kans van optreden vast te stellen en als onvermijdelijk te aanvaarden, dat met nog meer extreme regenhoeveelheden, overeenkomende met nog kleinere kansen van overschrijding, geen rekening meer zal worden gehouden, ook al weet men, dat deze regens te verwachten zijn. Hoe groot de kans, welke men als maatstaf zal nemen, gesteld moet worden, hangt af van de gevolgen, die een grotere overmaat of een groter tekort dan waarmede men bij het ontwerp van het plan rekende, voor het werk zal hebben.

2. Toepasbaarheid van de bestaande methoden van regenfrequentie-onderzoek

De methoden, die men in de literatuur tegenkomt en die werden ontworpen voor het samenvatten van de regencijfers, zijn meestal niet in staat het gedifferentieerde beeld van regenhoeveelheid, tijd van het jaar, tijdvaklengte en kans, op een samen-

hangende wijze weer te geven. Veelal is in de formules alleen plaats voor de regenval en de kans. Deze onvolledigheid is een bezwaar voor een methode die voor zeer verschillende doelstellingen een frequentie-overzicht zou moeten geven. Er kleven echter nog meer bezwaren aan de thans voorhanden zijnde wijzen van samenvatten van de regencijfers.

Van betekenis lijkt, dat de weergave met een formule voor vele gebruikers onaantrekkelijk zal zijn wegens de niet eenvoudige vorm van de formules. De grafische voorstelling heeft al evenzeer het bezwaar dat de kans groot is, dat het gebruik niet eenvoudig zal zijn. Wanneer men vier variabelen in hun onderlinge samenhang wil afbeelden, en het nomogram uit stelsels van lijnen zou bestaan, kan de moeilijkheid van interpoleren of alleen maar uit elkander houden van de verschillende groepen van lijnen niet gering zijn.

Een verder punt dat overweging verdient, is dat men in de praktijk telkens kan vaststellen, dat men ten aanzien van de beschikbare frequentie-diagrammen behoefte heeft aan meer extreme kansen dan het onderzoek geeft. Men gaat dan extrapoleren. De bekende bezwaren van extrapoleren zullen deze wijze van gebruiken van frequentie-formules of curven om voor de hand liggende redenen niet tegenhouden. Bij het onderzoek naar de regenfrequentie zal men met dit extrapoleren rekening moeten houden.

De onzekerheid die aan extrapoleren kleeft hangt samen zowel met de onzekerheid van de uitgangsgegevens als met de formule volgens welke men extrapoleert. Zou deze formule een aanvaardbare weergave vormen van de physische wetmatigheid die de regenval beheerst, dan zou het gevaar van het extrapoleren zeer verminderen. Van de thans voorhanden formules voor de regenfrequentie is het geen punt van beschouwing geweest of ze de physische wetmatigheid die de regenval beheerst voldoende beschrijven. Ook de grafische weergave heeft evenals de formules slechts de pretentie gehad, een soepele aanpassing aan de waarnemingen voor de regenhoeveelheden en hun frequentie van optreden te geven. Hoezeer deze soepele aanpassing een voordeel moge zijn binnen het gebied, dat door de waarnemingen overspannen wordt, zodra men zich bij het extrapoleren buiten dit gebied gaat begeven wordt deze soepelheid een nadeel.

Bij het hierna beschreven grafisch onderzoek werd getracht aan deze bezwaren tegemoet te komen. Hiertoe werd ernaar gestreefd, meer inzicht te verkrijgen in de samenhang tussen de verschillende veranderlijken en de wetmatigheid die achter het verschijnsel van de regenfrequentie staat. Tevens werd getracht een zo eenvoudig mogelijke weergave van de samenhang van de vier variabelen te geven.

3. De gebruikte regencijfers

De gebruikte regencijfers werden ontleend aan de waarnemingsreeks van de regenmeter bij het gemaal van de polder Schouwen. Hier was een volledige reeks aanwezig voor 50 aaneensluitende jaren. Als kenmerkend tijdstip voor de voor elke maand opgestelde frequentieverdeling werd de 15e van de maand gekozen. In totaal

17 tijdvakken werden samengesteld door voor en na deze 15e dag een gelijk aantal dagen met de 15e dag samen te voegen en over deze gezamenlijke dagen de regensom te berekenen. De tijdvaklengten werden gekozen met een variatie tussen 1 dag en 3 jaar. Voor de juiste lengten wordt verwezen naar figuur 5.

Bij het 1-daags tijdvak werden, in afwijking van de juist genoemde algemene regel, de vier dagen voor en na de 15e dag gebruikt om uit de zo uit 50 jaar waarnemingen verzamelde 450 gegevens een wat nauwkeuriger frequentie-curve te kunnen bepalen. Ook voor het driedaags tijdvak werd nog de drie-dagen-periode, die voorafgaat aan en volgt op het om de 15e gevormde tijdvak, aangetrokken. Hierdoor kon deze frequentie-curve op grond van 150 waarnemingen worden opgebouwd. Alle overige frequentie-curven werden opgesteld op grond van 50 gegevens.

Deze frequentieverdelingen werden voor de 17 tijdvakken van opklimmende lengte en voor elke maand van het jaar als cijferreeksen met de ponskaartenmachines van de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. samengesteld en daarna grafisch weergegeven.

4. De samenhang tussen de kansverdelingscurven

Op vele wijzen kan men van een reeks waarnemingen een frequentiecurve maken. Welke werkwijze het doeltreffendste is, zou men vooraf slechts kunnen aangeven wanneer bekend was, aan welke wet deze kansverdelingen gehoorzamen. Een dergelijke wet zal moeten aangeven hoe de verschillende kansverdelingslijnen uit het algemene principe — dat grafisch als een algemene lijn zal worden weergegeven — kunnen worden ontwikkeld. Redeneert men nu in tegengestelde richting, dan moet men van de algemene wet, die achter het regenkansverschijnsel steekt, een afbeelding krijgen, wanneer het gelukt de afzonderlijke curven zo te vervormen en te verschuiven, dat ze kunnen worden verenigd tot een enkele lijn.

De opgave om de samenhang tussen de vele kansverdelingscurven vast te stellen vereiste dus, de schalen voor de regenval en de kans zodanig te kiezen en dusdanige verschuivingen van het assenstelsel bij elke curve vast te stellen, dat alle curven tot samenvallen konden worden gebracht.

Na enige vergeefse pogingen werd gevonden, dat in het uitzetten van de curven op logarithmisch kanspapier de vraag van de schalen zijn oplossing vond. Door een verschuiving van het assenstelsel in horizontale en verticale richting, zonder draaiing van de assen, was het mogelijk de krommen tot dekking te brengen.

In figuur 1 zijn de kanslijnen voor een tijdvak van 9 dagen en de maanden April en September weergegeven. Deze curven maken de scherpste toets op het bestaan van de gelijkvormigheid mogelijk die uit de vergelijking binnen een zelfde tijdvak te verkrijgen is. De figuur toont wel aan dat de lijnen naar de vorm veel overeenkomst hebben en alleen naar hun ligging van elkander verschillen.

In welke mate men door verschuiving de afzonderlijke punten, waaruit elke kanslijn is opgebouwd, tot samenvallen kan brengen, toont figuur 2. Deze figuur geldt wederom voor de tijdvaklengte van 9 dagen en de maanden Februari, Juni, October

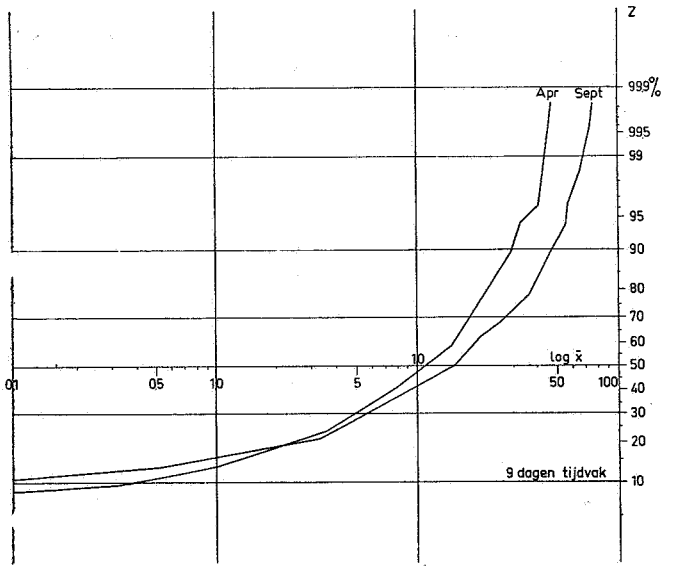


FIG. 1. De kansverdelingscurven voor een gelijke tijdvaklengte, maar verschillende maanden, hebben vormen die zeer veel op elkander gelijken.

FIG. 1. *The frequency distribution curves for an equal period but different months have very much the same form.*

FIG. 1. *Les courbes de distribution des chances relatives à des périodes égales. Différents mois présentent une forme quasiment identique.*

en December. De stippen van October wijken het meest af. Er treden teveel hoge waarden voor de regenval op. Een betere samenvalling zou door een gewijzigde verschuiving voor deze maand wel te bereiken zijn. Maar gerangschikt naar de opeenvolgende maanden en tijdvaklengten moet er ook in de verschuivingen een regelmaat optreden. Door het vergelijken van de verschuivingspatronen zowel over de maanden voor verschillende tijdvaklengten als over de tijdvaklengten voor de verschillende maanden, kan men een toevallige afwijking in een bepaalde curve op het spoor komen. De verschuiving, die de curve het beste inpast, kan slechts worden gevonden door de inpassing te controleren voor alle variabelen.

De nauwkeurigheid van het samenvallen van de waarnemingsstippen wordt voor het grootste deel beheerst door de onnauwkeurigheid van de kansen voor het kleine aantal van slechts 50 uitgangswaarnemingen. In figuur 2 is de nauwkeurigheid in het middengebied duidelijk groter dan aan de einden met de kleine kansen. Afwijkingen tot 5 % voor de kans en 1,5 mm of 12 % voor de regenval mag men voor het 50 % kans-punt verwachten.

De verschuivingsfiguur in figuur 2 werd vereenvoudigd tot een cirkel of gezien de toevallige keuze van de schalen meer algemeen een ellips. Dit is voor een cyclisch gebeuren als de jaarlijkse gang van de regenval een voor de hand liggende vereenvoudiging. Waar de gang van de regenval gecompliceerder is, zoals op Curaçao met zijn grote en kleine regentijd, krijgt men ingewikkelder figuren. De ingezette curve in figuur 2, die op gelijke schaal is getekend als de verschuivingscirkel voor het Nederlandse station, geeft hiervan een voorbeeld.

De onzekerheid van de verschuivingen is voor het Nederlandse station vrij groot tegenover de afmetingen van de verschuivingsfiguur. Met een groter uitgangsmate-

FIG. 2. Door een horizontale en verticale verschuiving kunnen de kansverdelingscurven voor verschillende maanden tot samenvallen worden gebracht. De verschuivingsfiguur is voor Nederland eenvoudig. Voor andere gebieden – inzet Curaçao – kan de vorm ingewikkelder zijn.

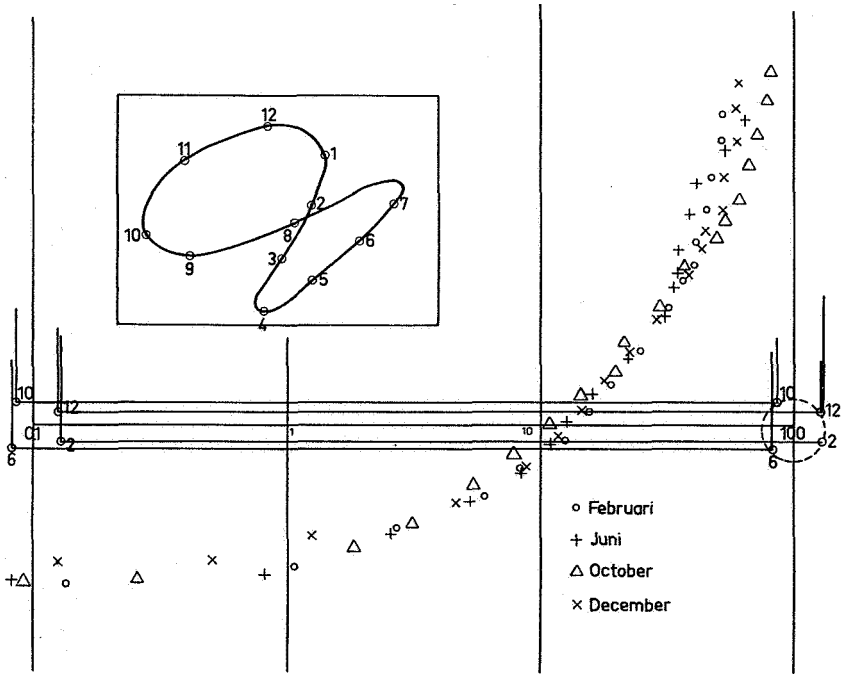


FIG. 2. *The frequency distribution curves for different months can be made to coincide by removing them horizontally and vertically. The translating figure for the Netherlands is a simple one. For other territories – inset Curaçao – the form may be more complicated.*

FIG. 2. *Un déplacement en sens horizontal et vertical peut amener une mise en commun des courbes de distribution des chances pour différents mois. La figure représentant ce déplacement, est simple pour la Hollande. D'autres zones, telles que p.ex. Curaçao, peuvent présenter une forme plus compliquée.*

riaal zou wellicht kunnen blijken — wat bij dit onderzoek buiten de mogelijkheid van bereikbare nauwkeurigheid lag — dat voor de verschuivings-ellips wellicht nog een wat gecompliceerder gesloten figuur zou hebben moeten worden gevonden.

De kanslijnen voor dezelfde maand maar voor opeenvolgende tijdvaklengten verschillen op het oog veel meer van elkander in vorm dan de lijnen voor hetzelfde tijdvak maar verschillende maanden. De curven in figuur 3 wijzen dit uit. Maar ook hier kan door verschuiving worden aangetoond dat deze lijnen gedeelten zijn van eenzelfde algemene lijn, dus afspiegelingen van eenzelfde wetmatigheid. Figuur 4 brengt een en ander in beeld. Enkele stippen voor de kleine kansen vallen wat ver buiten de gemiddelde samenhang, speciaal die voor het tijdvak van 27 dagen. Het

FIG. 3. De kansverdelingscurven voor dezelfde maand en opklimmende tijdvaklengte verschillen onderling nogal van vorm.

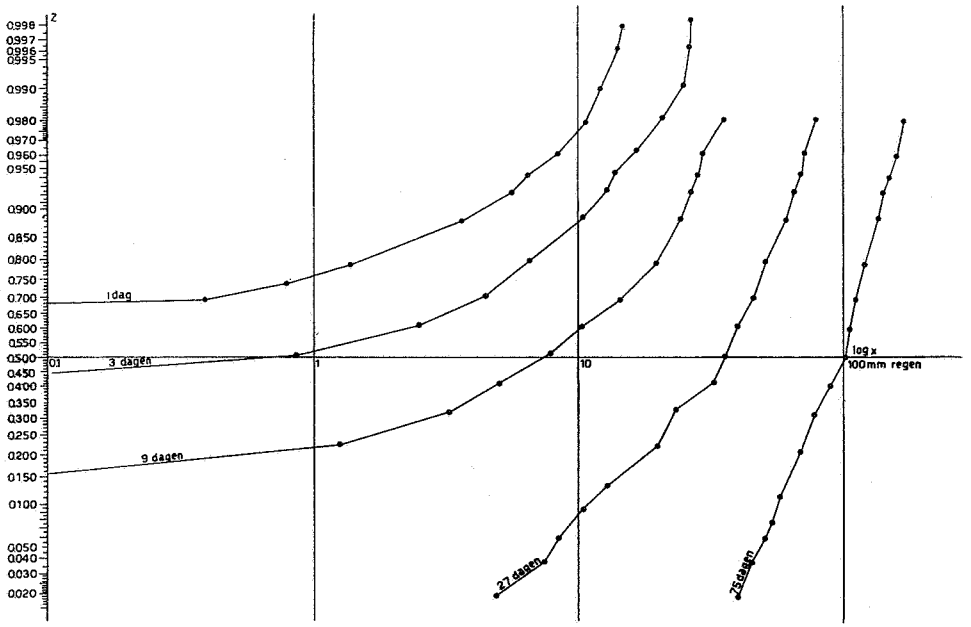


FIG. 3. *The frequency distribution curves for the same month and increasing periods are rather different in form.*

FIG. 3. *Les courbes de distribution des chances relatives au même mois et à des périodes ascendantes accusent, entre elles, des différences assez frappantes dans leur forme.*

kleine aantal gegevens, waarop deze afwijkingen berusten, maakt dat men dit niet zo zwaar behoeft te tellen, te meer daar de andere tijdvaklengten deze afwijking in het geheel niet vertonen.

De meetkundige plaats van de verschoven nulpunten van de assenstelsels, in het vervolg de drager te noemen, is in dit geval een schuin naar links oplopende, zwak gekromde lijn. Voor grotere tijdvaklengten dan die waarvoor in figuur 4 de gegevens zijn ingetekend, worden de kanscurven steeds gestrekter van vorm. De samenvalling door verschuivingen wordt daardoor, naarmate de tijdvaklengten groter worden, steeds gemakkelijker te bewerkstelligen. Men zou hier betrekkelijk willekeurige verschuivingspatronen met goede nauwkeurigheid kunnen samenstellen. Hieruit blijkt wel dat deze grotere tijdvaklengten als bewijs voor de verschuivingshypothese geen waarde meer hebben. De samenvalling kan in deze gevallen niet meer proberenderwijze worden vastgesteld, maar moet berusten op de fundamentele wetmatigheid, die bij de bestudering van de frequentielijnen voor de korte tijdvaklengten kan worden opgesteld.

FIG. 4. Door horizontale en verticale verschuiving kunnen ook de kansverdelingscurven voor opklimmende tijdvaklengten tot samenvallen worden gebracht.

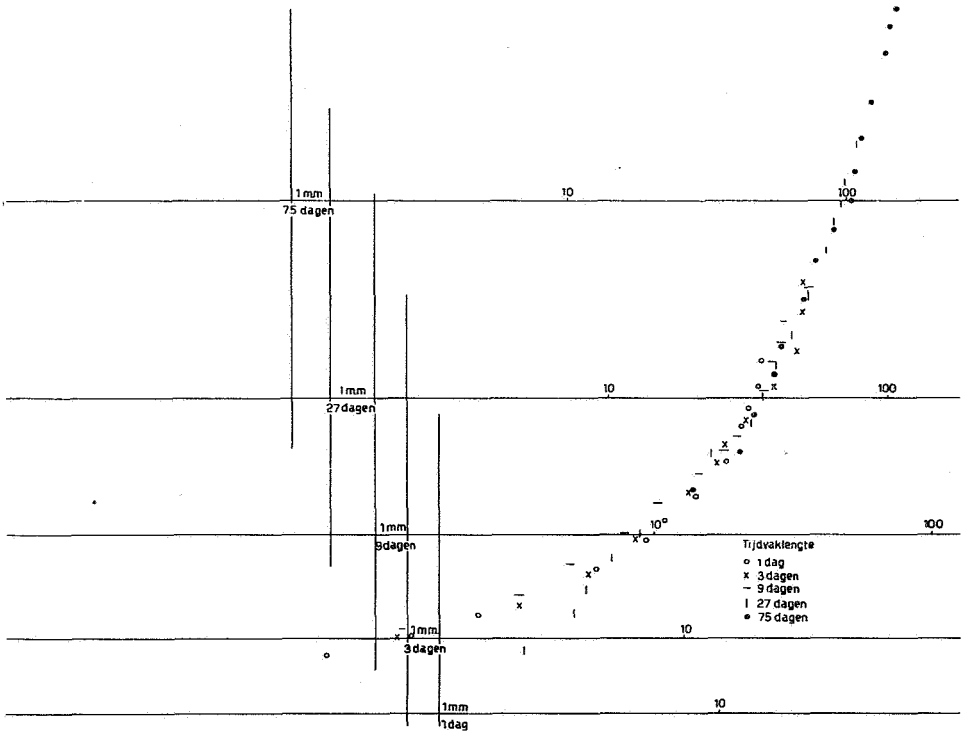


FIG. 4. *The frequency distribution curves for increasing periods can also be made to coincide by removing them horizontally and vertically.*

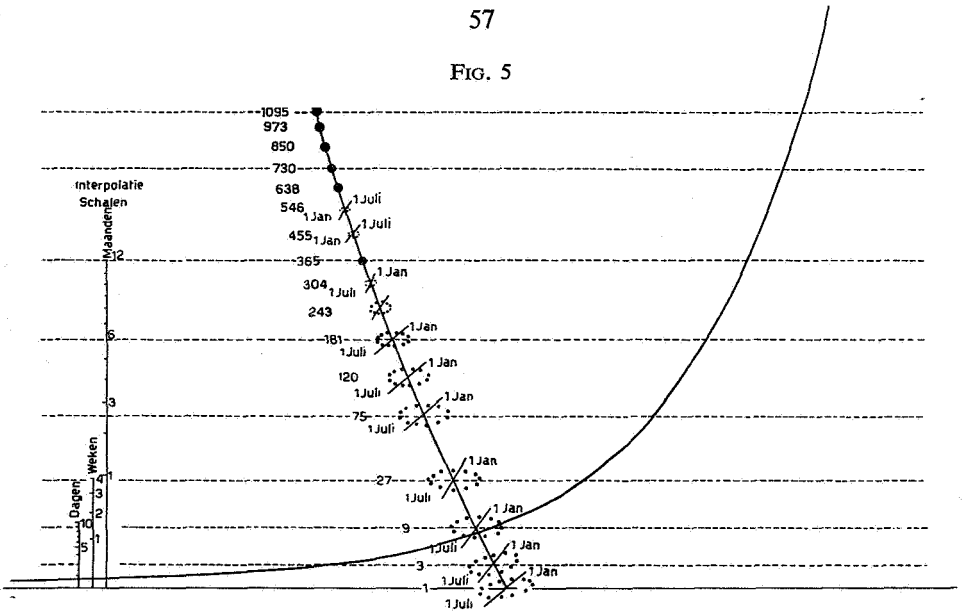
FIG. 4. *Un déplacement en sens horizontal et vertical peut amener également une mise en commun des courbes de distribution des chances relatives à des périodes ascendantes.*

5. HET NOMOGRAM VOOR DE REGENFREQUENTIES

De mogelijkheid, om door verschuiving van de op logarithmisch kanspapier getekende frequentieverdelingslijnen een samenvalling tot een enkele curve te bewerkstelligen, is voor het maken van een nomogram een grote vereenvoudiging. Er ontstaan nu de volgende samenstellende delen voor het nomogram:

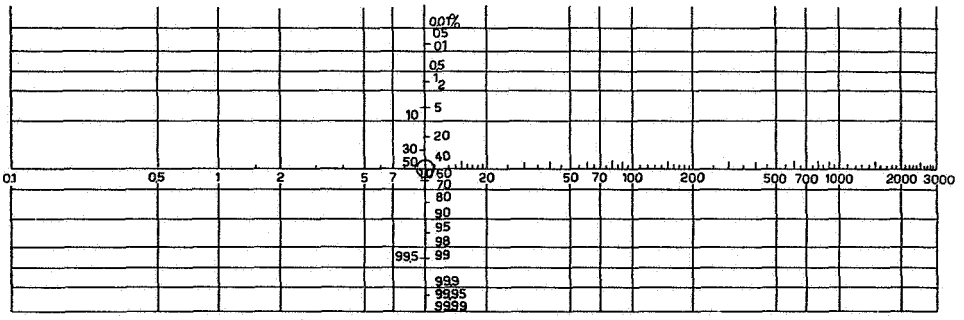
1. Een kansverdelingscurve voor alle tijdvaklengten en maanden van het jaar;
2. Een net van met maand- en tijdvaklengte becijferde lijnen die de meetkundige plaats voor de nulpuntsverschuivingen aangeven;
3. Een coördinatennet dat los staat van de kanscurve. Wanneer echter het nulpunt van het coördinatennet wordt aangelegd aan de juiste plaats van het net van verschuivingslijnen, dan wordt voor elke gewenste combinatie van maand en tijdvak de kanscurve en het coördinatennet zodanig samengevoegd, dat de bijeenbehorende overschrijdingskans en regenhoeveelheid kunnen worden afgelezen.

FIG. 5



In figuur 5 wordt de kanscurve en de verschuivingsfiguur aangegeven, in figuur 6 treft men het coördinatenstelsel aan, waarmede de aflezing tot stand moet komen. De ellipsjes, die de invloed van de tijd van het jaar representeren, worden weergegeven door de 12 punten voor de 15e van de maand. De volgorde van de maanden loopt tot 1 jaar en tussen 2 en 3 jaar tijdvaklengte met de klok mee, tussen 1 en 2 jaar loopt de volgorde tegen de klok in. Er wordt op gewezen dat de plaats van de maanden — in het nomogram b.v. Januari en Juli — bij de ellipsjes voor tijdvaklengten, die tussen 365 en 730 dagen vallen, tegenovergesteld is aan de onderlinge ligging van de stippen voor deze maanden bij de tijdvaklengten van 0 tot 365 of 730 tot 1095 dagen. In het nomogram ligt 1 Januari tot een tijdvaklengte van 1 jaar rechtsboven, tussen 1 en 2 jaar linksonder, tussen 2 en 3 jaar weer rechtsboven. Boven anderhalf jaar zijn de ellipsjes bij de schaal van de figuur echter door hun geringe omvang niet meer te tekenen.

FIG. 6



Het gebruik van het nomogram is nu als volgt: In het algemeen zullen de tijdvaklengte en de tijd van het jaar gegeven zijn. Deze twee getallen bepalen een plaats op een verschuivingsellips. Is de tijd van het jaar bepaald als een reeks van maanden, dan omvatten die een deel van de ellips. Men legt het nulpunt van de coördinaatassen dan aan op het zwaartepunt van dit lijnstuk. Wil men de kans over het gehele jaar kennen, dan wordt als nulpunt het zwaartepunt van de gehele ellips dus het snijpunt van de grote en kleine as genomen. Dit punt ligt op de drager voor opklimmende tijdvaklengte die in figuur 5 in tekening is gebracht.

Wanneer het nulpunt op de goede plaats is aangelegd, kan men de bijeenbehorende regenhoeveelheid en overschrijdingen dus aflezen. Neemt men eens aan, dat een kans van 1,2 % werd gevonden bij een tijdvaklengte van 30 dagen en een tijd van het jaar van 1 Januari tot 1 Juli, dan is de betekenis daarvan de volgende.

Een kans van 1,2 % wil zeggen, dat de betreffende regenval gemiddeld $1 \times$ in $83\,{}^1/_3 \times 30$ dagen voorkomt of eens in 2500 dagen. Omdat deze dagen echter alleen in de eerste helft van het jaar voorkomen, zullen er gemiddeld 5000 dagen of 13,7 jaar moeten verstrijken om deze regenval eens te doen optreden. De wijze van bewerken van de gegevens is zodanig geweest, dat de tijdvakken op elkander volgend moeten worden genomen en niet overlappend.

6. De wetten die de kans op regen beheersen

Er moeten verschillende wetten bestaan, die de kans op regen beheersen. Naarmate de toegepaste bewerking, volgens welke uit de regenvalcijfers de kansverdelingscurven worden opgesteld, een nauwkeuriger afspiegeling is van deze wetten, zal het resultaat betrouwbaarder zijn. In de volgende paragrafen zullen omtrent deze wetten enkele werkhypothesen worden afgeleid en zal worden aangetoond, dat de bewerking op verantwoorde wijze met deze grondslagen samenhangt.

De grafische bewerking gaf echter een aantal details die zich op het ogenblik nog aan een verklaring onttrekken. Deze ondergeschikte en bovendien minder zeker vaststaande details zullen hier buiten beschouwing worden gelaten. Het onderzoek wees wegen aan, die een nauwkeuriger oplossing mogelijk maken dan de weg die destijds, tengevolge van het ontbreken van de thans verkregen inzichten, bij deze studie werden gevolgd. Een nader onderzoek naar de betekenis van deze details — die door het nomogram wel reeds worden verantwoord — kan beter wachten tot dit nauwkeuriger materiaal beschikbaar komt.

De wetten die het kansvraagstuk van de regenval beheersen, zijn van drieërlei aard.

De regenval zal het gevolg zijn van een physische wet, die de condensatie van water beheerst en die de scheefheid van de kansverdelingsfiguur moet kunnen verklaren.

De variaties in de gemiddelde regenval voor de opeenvolgende maanden van het jaar en de variaties in de vorm en ligging van de kansverdelingslijnen, die daarvan een afspiegeling zijn, vinden hun oorzaak in een klimatologische wetmatigheid.

De vorm van de kansverdelingslijnen voor regensommen, die door het samentellen van dagregencijfers over opklimmende aantallen dagen worden verkregen, verschillen naar gelang van het aantal dagen, waarover men sommeerde. De vorm van deze curven zal naar gemiddelde en spreidingsmaat moeten voldoen aan de statistische wetten, die voor deze eigenschappen bij de gegeven scheefheid van de kansverdeling gelden.

De physische grondslag bepaalt in hoofdzaak de aard van de scheefheid van de kansverdeling. Dit was de in figuur 5 weergegeven, naar rechts oplopende gekromde lijn. De klimatologische grondslag beheerst in hoofdzaak de vorm van de verschuivingsellipsjes in figuur 5. De statistische grondslag tenslotte is vooral van belang voor het verklaren van de vorm en schaalverdeling van de drager van de verschuivingsellipsjes — de naar linksboven verlopende zwak gekromde lijn in figuur 5 — alsmede van de grootte van de ellipsjes.

7. De kansverdelingskromme

De kansverdeling van de regenvalcijfers is duidelijk scheef. Omdat voor alle maanden en tijdvaklengten eenzelfde kromme kon worden vastgesteld, geldt voor alle tijdvaklengten — ook de lange — eenzelfde scheefheidswet. Voor lange tijdvakken is echter het verschil tussen de scheve en de normale verdeling gering tengevolge van de gestrekte vorm van de curve in het deel, waar voor de hogere tijdvaklengten de kanssamenhang dient te worden afgelezen.

Bij nadere beschouwing van de gezamenlijke kanskromme bleek, dat men deze in een rechte lijn kan veranderen door niet de kansfunctie z en de logarithme van de regenval x tegen elkander uit te zetten, maar log (z + c) en log x als schaalverdeling te gebruiken. Voor de waarde van c dient daarbij het juiste bedrag te worden vastgesteld.

De gezamenlijke kanscurve kan dus worden weergegeven door:

$$\log (z + c) = a \log x + C$$

of met $C = \log b$

$$\log (z + c) = a \log x + \log b$$

$$z + c = b\, x^{a}.$$

De spreiding van de regenvalcijfers volgt dus blijkbaar een exponentieel scheve verdeling. Dit is een belangrijke aanwijzing voor de physische wet, die het regenkansverschijnsel beheerst.

In de physica komt men als formulering van een wet de exponentiële formules wel meer tegen. De relatie tussen temperatuur en straling of verdamping — in het algemeen formules die de overgang van energie beschrijven — worden op deze wijze weergegeven. Dat ook voor condensatie die tot regen leidt de samenhang met de temperatuur een dergelijke vorm zal aannemen lijkt een aanvaardbare veronderstelling.

Dat men nu deze formule als exponent van de kansverdelingsformule aantreft, kan men zich als volgt verklaren. De regen heeft een oorzaak, hetzij de temperatuur

of de temperatuurvariaties, of wat voor gecompliceerde constellatie in de atmosfeer dit moge zijn.

Nu kan er geen bezwaar tegen bestaan, de kansverdeling van de oorzaak van de regen normaal verdeeld te veronderstellen zo lang men zich over de aard van deze oorzaak niet uitlaat. Maar wanneer men aan een verandering van de energietoestand in de atmosfeer denkt onder invloed van een gecompliceerde samenwerking van factoren, dan mag men ook van deze veronderstelling uitgaan. Het is bekend, dat de kansverdeling van een som, ook als de termen afzonderlijk scheef verdeeld zijn, de normale verdeling dichter zal naderen naarmate er over meer termen gesommeerd wordt.

Bij de overgang van de energie-toestand van de atmosfeer, die condensatie tot gevolg heeft, zullen de vele samenwerkende factoren voor het optreden van een normale verdeling verantwoordelijk mogen worden geacht. Omdat nu voor de relatie tussen de energie-overgang en de condensatie een exponentiële wet het meest aannemelijk is, zal de kansverdeling voor de regenval welhaast exponentieel verdeeld moeten zijn. Zou men deductief voor de relatie tussen oorzaak en gevolg voor de regenval een formule moeten opstellen, dan zou de exponentiële formule hiervoor ongetwijfeld het meeste in aanmerking komen. Nu inductief dezelfde formule wordt gevonden is er alle aanleiding aan deze formule meer waarde te hechten dan aan een willekeurige soepele aanpassingsfunctie. Er zijn echter nog enkele eigenschappen, waaraan men de doeltreffendheid van de exponentiële formule als beschrijving van de relatie tussen oorzaak en gevolg voor de regenval kan toetsen.

In de exponentiële curve kunnen waarden van z worden ingevuld, waarbij geen reële waarde van x te berekenen valt. Vat men z nu even op als een waarde die evenredig is aan een temperatuur — de z-schaal heeft een willekeurig nulpunt en een willekeurige schaal, wat echter een evenredigheid niet uitsluit — dan zal er dus een temperatuur zijn, waar beneden het niet meer zal regenen. Algemener gezegd zullen dus constellaties in de atmosfeer met een eindige kans denkbaar zijn, die niet tot regen aanleiding kunnen geven. Dit is een volkomen aanvaardbare realiteit, waarvan de formule verantwoording aflegt doordat er een ondergrens voor x in voorkomt, die met een eindige kans correspondeert.

De formule kan de bij de regenval zo welbekende afgekapte kansverdelingscurven als in figuur 7 weergegeven, uitbeelden. Het lijkt niet alleen een groot technisch voordeel, dat deze verminkte kanscurven op dezelfde voet als de meer volledige curven kunnen worden behandeld, maar het mag ook het vertrouwen in de physische betekenis van de formule steunen. De behandeling van deze afgekapte kanscurven met formules als die van PEARSON staat zowel op grond van de technische bewerking van de cijfers als op grond van de gewenste eenheid van bewerking en inzicht in de grondslagen bij het gebruik van de exponentiële scheve verdeling ten achter.

De exponentiële formule kan op verschillende wijze worden weergegeven en in beeld gebracht. Het is van belang vast te stellen dat alleen in de vorm:

$$z + c = 10^{a \log x + \log b}$$

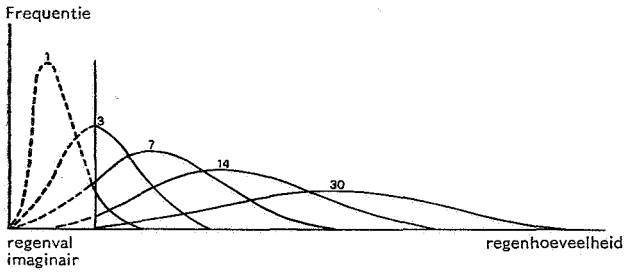


FIG 7. De afgekapte regenfrequentie-curven die bij de regenverdeling voorkomen kunnen door een exponentieel scheve verdeling goed worden behandeld, daar met een regenval gelijk nul eindige kansen corresponderen.

FIG. 7. *The incomplete rain frequency curves occurring in the rain distribution may be successfully dealt with through an exponentially skew distribution, as finite chances correspond with zero rainfall.*

FIG. 7. *Les courbes coupées de fréquence pluviale intervenant à la répartition des pluies, peuvent être décemment traitées par la voie d'une répartition oblique exponentielle, puisqu'à une pluviosité égale à nulle correspondent des chances finies.*

de vorm van de samenhang tussen z en x toelaat door verschuiving alle curven tot samenvallen te brengen. De verschillende curven verschillen alleen ten aanzien van de waarden c en b. Deze waarden hebben de betekenis van een drempelwaarde en een vermenigvuldigfactor van de regenhoeveelheid. De waarde van a is constant. Dit lijkt wel een belangrijk resultaat van dit onderzoek. Alleen in het constant zijn van de exponent is de oorzaak te vinden van de gemakkelijke hanteerbaarheid van het nomogram. Ook ligt hier de oorzaak, dat een oplossing met een gekromde gezamenlijke kansverdelingslijn waardevoller is dan een eveneens te vervaardigen oplossing met een rechte kansverdelingslijn. Verder mag worden opgemerkt, dat een constante exponent physisch beter verklaarbaar lijkt dan een variatie in de exponent. Voor het vertrouwen in de betekenis van de formule kan dit een steun zijn.

8. DE TIJD VAN HET JAAR

De invloed van de tijd van het jaar y, waarin de klimatologische wetmatigheid zich uit, wordt weergegeven door de verschuivingsellipsjes. Deze ellipsjes ontstonden als gevolg van een horizontale en een verticale verschuiving. Deze verschuivingen waren ten opzichte van de nauwkeurigheid van de bewerkte gegevens niet groot. Het was daarom niet mogelijk tot kleiner detail af te dalen dan het vereffenen van de gevonden verschuivingen volgens een gewone sinus-functie.

In figuur 8 vindt men deze als gevolg van een grafische vereffening verkregen sinus-curven en de verschuivingsellipsjes, die door het samenstellen van de beide verschuivingslijnen ontstonden. Men kan de verschuivingen weergeven met de formules:

$$\log b = e \sin(y - y_s) + f$$

$$c = g \sin(y - y_t) + h$$

FIG. 8. De cyclische verandering in de regenhoeveelheid gedurende het jaar kan door een horizontale en verticale verschuiving volgens sinuslijnen worden verantwoord. De veranderlijkheid van de amplitude en de ligging van de top staan niet volledig vast.

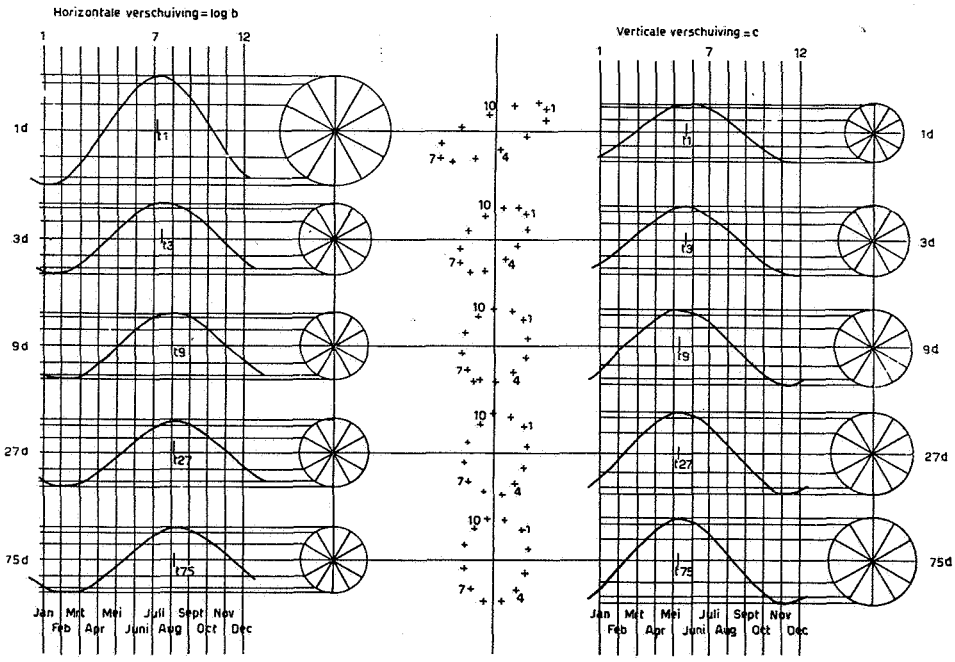


FIG. 8. *The cyclical variation in the quantity of rain during the year may be accounted for by a horizontal and vertical translocation according to the sinus lines. The variableness of the amplitude and the top position have not yet been fully determined.*

FIG. 8. *Le changement cyclique dans les quantités pluviales l'année durant peut être justifié par un déplacement horizontal et vertical d'après des lignes de sinus. La variabilité de l'amplitude et la position du sommet ne sont pas entièrement certaines.*

In deze formule is y gemakshalve in radialen uitgedrukt gedacht. In figuur 8 vindt men, hoe de amplitudes e en g variëren, terwijl de plaats van de maxima, afhangend van y_s en y_t, eveneens veranderlijk is. Deze variabiliteit dient echter nog eens nauwkeuriger te worden onderzocht, vooral voor de kortste tijdvaklengten. Er kan daarom beter alleen worden ingegaan op de algemene lijn, die uit de drie langste tijdvakken van figuur 8 naar voren lijkt te komen.

Bij de horizontale verschuiving log b vallen de maxima en minima in Augustus en Februari. Wanneer de b — de factor waarmede de regen vermenigvuldigd moet worden — groot is, dan is de regenhoeveelheid groot. Men vergelijke figuur 5 en figuur 8.

De maxima en minima voor de verticale verschuiving c, vallen in November en Mei. Ook hier betekent een maximum een grotere neerslag. De maxima vallen na elkander met een verschil van drie maanden.

Overweegt men wat de klimatologische betekenis van de curven en van de naijling ten opzichte van elkander kan zijn, dan zou van belang kunnen zijn, dat het verschil tussen de beide optima gelijk is aan de verschuiving van het optimum door integratie. Denkt men bij een grotere waarde van log b en de daarmede verbonden grotere regenval aan een gevolg van een grotere vochtinhoud van de atmosfeer bij hogere temperatuur, dan zou dit kloppen met het maximum in Augustus en volgens eenzelfde redenering met het minimum in Februari. De temperatuur mag men misschien als een gevolg van de integratie van instralende en uitstralende warmte van de aarde en de atmosfeer zien.

De verschuiving c zou dan niet het gevolg mogen zijn van een invloed die door integratie werkt. De drempelwaarde zou door een direct werkende factor moeten worden beheerst. Dus voortgaande in de juist ontwikkelde gedachte, zou de variatie in c door de instralende energie alleen worden beheerst.

Klimatologen zullen moeten beslissen of het zin heeft de drempelwaarde voor de regen als een functie te beschouwen van een bepaalde variabele en de vermenigvuldigfactor voor de regen door de integraal van deze variabele. Bij de bewerking van de regencijfers voor Curaçao werd ook reeds de indruk verkregen, dat de verticale verschuiving en de zonnestand op een of andere wijze samenhingen. De naijling van de sinus-curven over drie maanden en een samenhang tussen de temperatuur en log b vielen daar echter niet op.

De waarde van de voorgaande beschouwing is misschien alleen, dat bij het frequentie-onderzoek vragen omtrent de oorzaak van de verschijnselen zich opdringen en dat een duidelijk inzicht in de grondslagen van de samenhang tussen de veranderlijken de bewerking betrouwbaarder zal maken. Tevens verdient het de aandacht, dat het frequentie-onderzoek een hulpmiddel kan vormen bij de bestudering van de klimatologische en physische relaties.

9. De tijdvaklengte

Naast de frequentie van de dagregenval kan men de frequentie van de regensom over een tijdvak ter lengte van t dagen onderzoeken. Gevonden werd, dat de waarde van log b en vooral c bij toenemende waarde van t sterk veranderen. De wetten, die deze verandering beheersen, zijn geheel van statistische aard. Men kan de invloed van de tijdvaklengte op de grootte van de horizontale en verticale verschuiving afleiden voor een vaste waarde van de tijdvaklengte en een variabele tijd van het jaar zowel als voor een vaste tijd van het jaar en een opklimmende tijdvaklengte. In het eerste geval wordt aangetoond hoe de verschuivingsellipsen van vorm veranderen, in het tweede geval hoe de vorm van de drager zal zijn als gevolg van de aard van de scheefheid en de wetten voor het gemiddelde en de fout van een som.

10. De invloed op de vorm van de verschuivingsellipsjes

De vorm van de verschuivingsellipsjes wordt bepaald door twee gelijkvormige formules, zodat maar voor een van de beide verschuivingsrichtingen behoeft te worden afgeleid, welke invloed de tijdvaklengte heeft.

Voor de berekening wordt de aanvang van het tijdvak gesteld op het tijdstip y–t/2 en het einde op y+t/2. De formule voor de horizontale verschuiving wordt nu geïntegreerd tussen deze twee grenzen. De formule voor de horizontale verschuiving was:

$$\log b = e \sin (y - y_s) + f.$$

Voor de som van de regenhoeveelheden voor het 50% punt van de kans-curve geeft de berekening als waarde voor de verschuiving $\overline{\log b}$ die bij deze som behoort:

$$\overline{\log b} = e \int_{y - t/2}^{y + t/2} \sin (y - y_s) + f$$

$$\overline{\log b} = t \left(e \sin (y - y_s) \frac{\sin t/2}{t/2} + f \right)$$

De verschuiving is blijkbaar volgens de buiten haken geplaatste t, gemiddeld t maal zo groot als de gemiddelde regensom voor t = 1. Maar binnen de haken blijkt een correctieterm $\frac{\sin t/2}{t/2}$ op te treden, die de invloed van de cyclische verandering van de gemiddelde regenval gedurende het jaar verantwoordt. De amplitude van de verschuiving wordt met deze functie van t gereduceerd. Aangezien voor de verticale verschuiving eenzelfde correctie op de amplitude geldt, komt het er op neer, dat de ellips wordt verkleind tot een omvang die $\frac{\sin t/2}{t/2}$ maal kleiner is.

Voor kleine tijdvaklengten treden hier weer afwijkingen op, die te zijner tijd aan nauwkeuriger materiaal nog eens beter bestudeerd zullen moeten worden. Voor hogere waarden van t, waar de ellipsen niet meer door verschuiven geconstrueerd kunnen worden tengevolge van de gestrekte vorm van de kanscurve, kunnen door middel van deze berekening verschuivingsfiguren worden getekend die de kanscurven inderdaad goed doen samenvallen. Opgemerkt mag worden, dat de dubbele spiegeling van de verschuivingsellipsen bij tijdvakken van 1 tot 2 jaar — Januari is verplaatst van rechtsboven naar linksonder — uit de waarnemingen zowel als uit de formule volgde.

11. De vorm van de drager

De vorm van de drager kan men voor $(y - y_s) = \pm 90°$ en $(y - y_t) = \pm 0°$, — een waarde van y dus die een punt van de ellips bepaalt dat op de drager ligt — berekenen op grond van de wetten voor het gemiddelde en de spreiding van een som.

De gemiddelde schaalwaarde voor de regenhoeveelheid $\overline{x^a}$ neemt voor een som over t dagen toe tot $t\,\overline{x^a}$. De spreiding S echter zal toenemen tot $S\sqrt{t}$.

In een diagram met schalen z en x^a zal de kansverdelingslijn een rechte zijn. Voor de eenheid van tijdvaklengte wordt deze rechte lijn weergegeven door de formule

$$x^a = \overline{x^a} + Sz.$$

Voor de kansverdelingslijn voor het t-dagen-tijdvak zal de formule overgaan in

$$x^a = t\,\overline{x^a} + S\,\sqrt{t}\,Z.$$

Deze formule kan nu geschreven worden in de vorm die verschuiving toestaat en wordt dan — met de eerder reeds gegeven formule ter vergelijking er onder — weergegeven:

$$Z + \frac{\overline{x^a}}{S}\sqrt{t} = 10^{a \log x - \log S \sqrt{t}}$$

$$Z + C = 10^{a \log x + \log b}.$$

De drager voor de ellipsjes voor opklimmende tijdvaklengten wordt dus bepaald door een verschuiving in de z richting en een verschuiving in de log x richting:

$$C = \frac{x^a}{S}\sqrt{t}$$

$$\log b = -\log S \sqrt{t}$$

Lost men uit deze beide formules $\sqrt{t}$ op dan vindt men voor de drager de formule:

$$C = -\frac{b}{S^2}\,\overline{x}^a$$

Voor de drager zal men dus, evenals voor de gezamenlijke kanscurve, een rechte lijn krijgen indien de z en de x schaal logarithmisch worden gemaakt. Alleen dient bedacht te worden, dat de nulpunten van de beide log-z schalen niet samenvallen, zodat geen nomogram te maken zal zijn, waarbij drager en kansverdelingscurve beide recht zijn. Het nulpunt voor de drager ligt nogal wat verder in de negatieve richting dan dat voor de kansverdelingslijn.

Hier raakt men een punt, waarvan de physische betekenis niet direct duidelijk is. Er is blijkbaar ergens een punt, waar voorbij de drager imaginair wordt. Het lijkt dat men hieruit de conclusie zou moeten trekken, dat het kleinste reële tijdvak dat kan bestaan nog een eindige kans op regen te zien moet geven. Het valt niet te overzien wat dit zou kunnen betekenen.

Hieruit mag wel volgen, dat het onderzoek naar de kansverdeling voor zeer korte tijdvakken als uren en minuten nog een aanzienlijk dieper inzicht moet kunnen geven in de grondslagen, die de kans op regen beheersen. Het zal van belang zijn, dit onderzoek uit te voeren volgens dezelfde grafische methoden als hier gebruikt zijn.

12. De lengte van het tijdperk

De kanscurven werden samengesteld uit 50 waarnemingen, één voor elk jaar waarvan gegevens werden bewerkt. Op deze wijze wordt een antwoord verkregen

op de vraag, wat de kans op regen zal zijn binnen een even groot aantal dagen als het gekozen tijdvak lang is. Een veel voorkomende vraag zal echter ook zijn, wat de kans is op een zekere hoeveelheid regen in een tijdvak gelegen binnen een aantal dagen, dat groter — zelfs veel groter — is dan de lengte van het tijdvak. De variabele van het aantal dagen, waarbinnen het tijdvak zal vallen, zal tijdperk genoemd worden en met P worden weergegeven.

Het zal niet moeilijk zijn, in te zien dat de invloed van P geheel gelijk is aan de invloed van het tijdvak. Bij een waarde van P die van t afwijkt zal de schaal ten opzichte van het ellipsje voor $P = t = 1$ met een factor $\frac{\sin t/2}{t/2} \cdot \frac{\sin P/2}{P/2}$ moeten worden verkleind.

De invloed van het tijdperk is overigens niet groot, zoals blijken kan uit de fout, die maximaal in het regencijfer kan ontstaan wanneer men ofwel de punten op de ellips voor $P = t$ ofwel het middelpunt van de ellips op de drager voor $P = 365$ dagen als maatstaf voor de verschuiving neemt. De waarden voor de sinus-functie en de fout zijn voor het gemak opgegeven voor opeenvolgende twaalfden van het jaar.

	Fout ten opzichte van P = t							
Lengte van het tijdperk in twaalfden	0	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{\sin P/2}{P/2}$	1,000	0,990	0,955	0,900	0,828	0,738	0,637	0,527
Maximale fout in % regen	0	0,3	1,3	3	5	8	11	15

	Fout ten opzichte van P = 1 jaar				
Lengte van het tijdperk in twaalfden	8	9	10	11	12
$\frac{\sin P/2}{P/2}$	0,414	0,300	0,191	0,090	0,000
Maximale fout in % regen	13	9	6	3	0

De fouten zijn berekend voor tijdvakken met een lengte tot enkele maanden. Men kan uit de grootte van de fouten afleiden, dat bij niet te lange tijdvakken de lengte van het tijdperk niet in aanmerking behoeft te worden genomen. Er volgt echter tevens uit, dat men voor de korte tijdvaklengten de waarnemingen waaruit de kansverdelingslijnen worden samengesteld, zonder veel bezwaar mag ontlenen aan een tijdperk van 1 tot 2 maanden. Hierdoor kan de nauwkeurigheid van de resultaten hoger worden opgevoerd en kan deze boven de voor de details wat te beperkte betrouwbaarheid van dit onderzoek uitstijgen. Opgemerkt werd reeds dat dit onderzoek op een tijdperk van 9 dagen berustte.

13. Verder onderzoek

De grafische bewerking van de regencijfers werd het eerst ontworpen voor een regenfrequentie-onderzoek voor Curaçao. De hierbij verkregen inzichten werden gebruikt om dit onderzoek voor het Schouwse station een betere opzet te geven. Vooral werd ditmaal overwogen, welke wetten de grondslag voor de regenfrequentieverdeling vormen. Een aantal punten kwamen daarbij naar voren, die nog nader bestudeerd zullen moeten worden. Ten dele zal de studie daartoe in handen van specialisten moeten overgaan. Vooral geldt dit voor het opstellen en toetsen van de werkhypothesen. Verder kan ook de wijze waarop de gegevens worden verzameld nog wat scherper op het doel worden afgesteld.

Het blijkt slechts een geringe, bovendien nog te corrigeren fout met zich te brengen, wanneer men voor het vaststellen van de kansverdelingslijnen voor de korte tijdvakken de regencijfers van een tijdperk van 2 à 3 maanden gebruikt. Op deze wijze krijgt men voor alle tijdvakken tot 30 dagen 3 tot 10 maal meer gegevens dan voor dit onderzoek gebruikt werden. Hieruit zal een betrouwbaarder inzicht in de veranderlijkheid van de naijling en de amplitude van de verschuivingsellipsen kunnen worden verkregen. Tevens kan dan nader worden overwogen, welke grondslagen de verdelingsfiguren voor korte tijdvakken beheersen.

Een tweede verbetering zal bestaan in het opmaken van kansfiguren voor opeenvolgende tijdvaklengten uit regencijfers voor een tijdperk van een jaar. Hierdoor zal de drager van de verschuivingsellipsjes met grote nauwkeurigheid kunnen worden vastgesteld.

Tenslotte blijkt het onderzoek met dezelfde hoeveelheid werk een nauwkeuriger resultaat te geven, wanneer van de lange tijdvakken minder en van de korte tijdvakken meer gevallen worden onderzocht. Een uitbreiding in de richting van de uur- en minuut-regenvallen zal daarbij van veel meer belang zijn dan een uitbreiding naar de meerjaars-regenvallen.

Uit dit onderzoek zal naar voren kunnen komen, dat het nomogram nog verder vereenvoudigd zal kunnen worden. Wanneer de naijling en amplitude van de verschuivingsellipsjes bij nauwkeuriger onderzoek minder mochten blijken af te wijken van de eenvoudige veronderstellingen, die hier voor zijn opgesteld, dan uit de hier uitgevoerde bewerking leek te volgen, dan zal nog een verdere aanzienlijke vereenvoudiging van het nomogram mogelijk zijn door de ellipsjes als een concentrisch stelsel op het coördinatenblad aan te brengen en op het blad met de kanskromme alleen de drager op te nemen. Het zal gewenst zijn met zorg te overwegen, welke onnauwkeurigheden zullen mogen worden aanvaard om het nomogram voor de regenkansverdeling deze eenvoudigste vorm te geven.

Achtste Technische Bijeenkomst

op 13 December 1951

II. MODELONDERZOEK VAN GRONDWATERSTROMINGEN

I. INLEIDENDE BESCHOUWING OVER MODELONDERZOEK VAN GRONDWATERSTROMINGEN

W. R. VAN WIJK

Landbouwhogeschool, Wageningen

Het onderwerp van deze dag is onderzoek over stroming van grondwater met behulp van modellen, waarbij men zich voorstelt in korte tijd en in kleine lengteafmetingen een overzicht te verkrijgen van het gedrag van het grondwater in een bepaald gebied, of wel waarbij men een model van de grond maakt, dat geïdealiseerd is (zonder scheuren of andere inhomogeniteiten), om bepaalde stromingstoestanden te bestuderen. Het verkleinen van de tijd en lengteschalen kan niet geheel willekeurig geschieden, zal de stromingstoestand in model en in de werkelijkheid voldoende punten van overeenstemming vertonen om in de praktijk waardevolle resultaten te kunnen leveren. Men moet a.h.w. zorgen, dat eenzelfde verhouding bestaat tussen de verschillende krachten die van dezelfde orde zijn, in het model en in de praktijk. Over de regels, waaraan de modellen moeten voldoen is in 1944 een symposium gehouden door de Nederlandse Natuurkundige Vereniging, waarvoor Prof. J. M. BURGERS de algemene inleiding heeft gehouden. Wat de theorie van het modelonderzoek betreft moge ik naar zijn voordracht verwijzen. Hier zal ik slechts een overzicht geven over de modellen, die voor grondwaterstroming worden gebruikt en ook wat de theorie betreft mij beperken tot dit gebied.

MODELLEN

Onder modelonderzoek voor grondwaterstroming verstaat men enige verschillende werkmethoden.

A. Het eenvoudigste geval is wel, dat men een deel van de grond onderzoekt en daarbij a.h.w. een beperkt stuk grond, dat homogeen is van samenstelling, maakt om daarin de wetten van de stroming van grondwater te onderzoeken. Men wordt dan niet gestoord door afwijkingen door scheuren veroorzaakt, of door verschillen in structuur van de bodem op verschillende plaatsen, afwijkingen in korrelvorm en grootte. Een voorbeeld hiervan is de door Dr CHILDS in Cambridge gebouwde grondtank van ongeveer 10 m diameter en 2,5 m hoogte (maten geschat), die thans met zand is gevuld, maar waarvan het de bedoeling is, dat daarin ook andere grondsoorten worden onderzocht. In deze tank zal de gelijktijdige stroming van water en lucht door het zand worden bestudeerd. Als eerste punt op het programma van Dr CHILDS staat het onderzoek van drainagebuizen, waarvan enige in de tank worden ingegraven en de toevloeiing van het water daarin zal worden bestudeerd. Een heel netwerk van sproeiers is boven het oppervlak aangebracht om het binnendringen van het water

bij regenval te kunnen onderzoeken. De afmetingen van de tank zijn zò groot gekozen, dat Dr CHILDS meent in het centrum weinig last van randeffect te zullen ondervinden. Hier hebben wij dus te doen met een modelonderzoek, waarin het modelmatige alleen zit in het idealiseren van de eigenschappen van de grond, maar waarin zowel onderzochte substantie, als drainbuis en de afmetingen en de tijdschaal dezelfde zijn, als in de werkelijkheid.

B. Vervolgens verstaat men onder modelonderzoek, onderzoek, waarbij de beschouwde objecten dezelfde zijn als in de werkelijkheid, doch op verkleinde schaal uitgevoerd. Het Waterloopkundig Laboratorium in Delft verricht dikwijls onderzoek over dit soort modellen. Het is daarbij niet altijd mogelijk om alle grootheden, die in de werkelijkheid van invloed zijn op de stroming te verkleinen. Men denke b.v. aan oppervlaktespanning en daarom moet het model beperkt blijven tot die objecten, waarbij de invloed van deze grootheden gering is, of waarbij op een of andere manier voor deze invloed kan worden gecorrigeerd. Lengte-afmetingen en tijdschaal zijn uiteraard gemakkelijk te verkleinen. Wanneer de verkleiningsfactor van deze is vastgelegd, ligt ook die van de snelheid, welke de dimensie lengte gedeeld door tijd bezit en van de versnelling, die de dimensie lengte gedeeld door tijd in het kwadraat bezit, vast, dus ook van de krachten. Bij deze modellen wordt nog wel geëxperimenteerd met de werkelijke media, die in de practijk voorkomen, t.w. grond en water eventueel ook lucht.

C. Dan krijgen wij modelproeven, waarbij de media, waarmede wordt geëxperimenteerd verschillen van die, welke in de werkelijkheid optreden. Dit zijn modellen in de meest uitgebreide zin van het woord, waarbij men alleen gebruik maakt van het feit, dat voor de stroming van de stoffen, die men in het model onderzoekt, dezelfde differentiaalvergelijking geldig is, als voor de stroming van het grondwater door de bodem. Het meest bekende model op dit gebied is wel het z.g. spleetmodel, waarbij een vloeistof tussen twee platen, met nauwe tussenruimte, stroomt. De grond is hierbij volledig weggelaten. Niettemin kan dit model toch gebruikt worden voor het onderzoeken van grondwaterstroming, omdat de differentiaalvergelijking voor de vlakke stroming van een vloeistof in een dunne laag dezelfde is als voor een vloeistofstroming door een poreus materiaal.

Bij dit soort modellen komen wij tot de essentie van het modelonderzoek, nl. het vinden van oplossingen van een stromingsvergelijking. Het is duidelijk, dat een model dan ook nooit meer kan geven dan een strenge wiskundige behandeling, wanneer men althans de vergelijking, die de stroming beschrijft, goed kent.

Wanneer men een stap verder gaat, wordt niet alleen het medium grond in het model door een ander medium, of, zoals het in spleetmodel gebeurt, door niets vervangen, maar ook de stromende vloeistof. De stromingsvergelijking voor grondwaterstromingen is gelijk aan die voor de stroming van electrische lading of van warmte en zo is het ook mogelijk vloeistofstroming te bestuderen door de stroming van de genoemde grootheden na te gaan. Wij zullen vandaag iets horen over een model, waarbij de warmtestroming in plaats van het water wordt onderzocht. Ten slotte

behoeft men ook geen stromingsverschijnsel te bestuderen in het model. De potentiaalvergelijking in de electrostatica en zijn uitbreiding op niet-stationnaire potentiaalvelden, die in het eenvoudigste geval telegraafvergelijking wordt genoemd, is dezelfde vergelijking als die, welke de stroming van een onsamendrukbare vloeistof beheerst en men kan dus ook door meting van de electrische potentialen in een model de vloeistofstroming in de werkelijkheid leren kennen.

Het doel, dat de gebruikers van de verschillende modellen voor ogen staat, is dikwijls verschillend. In vele gevallen en dit geldt speciaal voor de in de tijd onveranderlijke stroming, kan men door direct oplossen van de stromingsvergelijking vlot en met hoge nauwkeurigheid de grondwaterstroming berekenen. Het voordeel van de modellen boven de berekening ligt dan veelal in de instructieve waarde daarvan. Men ziet in het model direct de stroomlijnen verlopen en hoeft deze niet eerst uit te rekenen en te tekenen. In het geval van een ingewikkelde begrenzing van het gebied, waarin de stroming plaats vindt, of bij inhomogeniteiten kan de besparing in tijd een factor zijn, waardoor men de mogelijkheid heeft snel de invloed van variaties in de omstandigheden, die een stroming bepalen, te kunnen nagaan.

Voor de niet-stationnaire stroming, waarbij een verschil bestaat tussen inkomende hoeveelheid en uitkomende hoeveelheid water, dat tot uiting komt in een toenemende waterberging in het grondvolume, wordt de berekening in vele gevallen tijdrovender. Deze niet-stationnaire stroming is in de laatste decennia uiterst belangrijk gebleken, wanneer men problemen van watervoorziening behandelt, waar uitgestrekte waterreservoirs in het geding zijn. De voor de waterberging benodigde hoeveelheid vloeistof is dan zeer groot, zodat, wanneer men deze niet in rekening brengt en meent de stationnaire stromingsgevallen te kunnen toepassen, zeer ernstige misrekeningen het gevolg kunnen zijn.

Naar men mij mondeling heeft medegedeeld, had men b.v. bij een project voor de drinkwaterleiding te Houston, dat omstreeks 1930 is uitgevoerd, uit het debiet van proefputten geconcludeerd, dat een bepaald waterverbruik toelaatbaar zou zijn. Het bleek echter, dat het werkelijk toelaatbare waterverbruik slechts 1/5 hiervan bedroeg. Deze afwijking werd veroorzaakt door de sterk vergrote uitstroming uit de proefputten gedurende de korte beproevingstijd, die ging ten koste van de vermindering van de waterberging in het reservoir. Bij een der voordrachten zal nog een eenvoudig voorbeeld worden gegeven van de grote hoeveelheden water, die bij niet-stationnaire stromingen door de bodem vastgelegd worden, waarmede men het grondwaterniveau gaat verhogen.

DISCUSSIE

Ir J. B. SCHIJF wijst er op, dat eigenlijk alleen is gesproken over modeltechnieken voor twee-dimensionale vraagstukken. In Rusland werd in 1935 gewerkt met een drie-dimensionaal electrisch model. Kan het zo worden beschouwd, dat voor de Nederlandse problemen kan worden volstaan met het gebruik van twee-dimensionale modellen of bestaat ook de behoefte aan drie-dimensionale modellen en in welke vorm worden die toegepast?

Prof. VAN WIJK antwoordt hierop, dat bij de inleidingen ook wel over drie-dimensionalen werd gesproken. Het in het voorwoord voor de Hydrologische dag genoemde model van CHILDS maakt het drie-dimensionale onderzoek ongeveer in het centrum van de zandmassa mogelijk. De modellen, die door Prof. THIJSSE en Prof. GEUZE zijn besproken, zijn eveneens drie-dimensionaal. Ook het electrische model waar Prof. VREEDENBURGH zijn inleiding over hield, is met vrucht gebruikt voor de bestudering van de drie-dimensionale stroming.

Drs P. BRUIN stelt de vraag of de variabelen in de grond ons wat kunnen leren.
Voor de beantwoording van deze vraag moge worden verwezen naar de door Prof. VAN WIJK aan het einde der bijeenkomst gegeven samenvatting.

II. GRONDWATERSTROMINGSPROBLEMEN IN DE LANDBOUW; METHODEN VAN ONDERZOEK

S. B. HOOGHOUDT (†)

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

Over modelonderzoek zal niets worden medegedeeld. Voorlopig is dit onderzoek op ons instituut geheel stopgezet, behoudens voor demonstratiedoeleinden van twee-dimensionale stromingsproblemen, waarbij afhankelijk van het probleem alleen zoet dan wel tevens zout grondwater aanwezig is.

Wat dus nu wordt medegedeeld, is ons standpunt ten opzichte van deze vraagstukken, dat overigens kort en bondig samengevat U ook reeds werd toegezonden.

De stromingsvraagstukken, waarmede ons instituut tot heden te maken heeft gehad en vermoedelijk voorlopig ook nog te maken zal hebben, zijn practisch alle, zo nodig, in de eerste plaats van drie-dimensionale tot twee-dimensionale stromingen te herleiden en wel door het aanbrengen van correcties. In de tweede plaats zijn zij om te vormen tot stationnaire stromingen.

Voor stationnaire, twee-dimensionale stromingen bestaan zowel voor homogeen als heterogeen doorlatende gronden diverse oplossingsmethoden door middel van berekeningen. Enkele hiervan werden aan ons instituut voor onze doeleinden volledig ontwikkeld. Deze laten practisch gesproken altijd een oplossing toe, met in principe iedere nauwkeurigheid, welke men wenst.

Onverschillig of men de oplossing van een stromingsvraagstuk nu via een berekening dan wel via een modelproef oplost, in beide gevallen moeten de randvoorwaarden en de physische bodemconstanten bekend zijn. Nu is het duidelijk, dat de nauwkeurigheid, waarmede deze gegevens kunnen worden vastgesteld, tevens de vereiste nauwkeurigheid van de oplossingsmethodiek bepaalt. Deze laatste nauwkeurigheid kan geringer zijn, naarmate de onzekerheden in de randvoorwaarden en physische constanten groter zijn. Voor een oplossing via berekening wil dit zeggen, dat vereenvoudigde en (of) snellere methodieken toelaatbaar zijn.

De randvoorwaarden voor stromingsproblemen in de landbouw zijn belast met een vrij grote onzekerheid. Dit geldt in de eerste plaats de ligging van de grondwaterspiegel in verband met de optimale groei van de gewassen. Ook de hoeveelheden water, die daarbij aan- of afgevoerd moeten worden, zijn vrij onzeker. De doorlatendheid van de grond evenals de verandering daarvan met een toenemende diepte onder het maaiveld zijn met belangrijke fouten belast, indien al te bepalen. In niet-zandgronden vormt de z.g. boorgatenmethode de enige goed uitgewerkte methode. Deze is slechts tot een niet veel grotere diepte dan 2 m onder de grondwaterspiegel toe te passen. De verandering van de doorlatendheid met de diepte is hieruit slechts in eerste benadering af te leiden. De doorlatendheid van dergelijke gronden op grotere diepte kan zelfs in het geheel niet bepaald worden, of men heeft de hiervoor mogelijke methodiek nog onvoldoende ontwikkeld en gecontroleerd. Het voorgaande maakt, dat grotere exactheid van de oplossingsmethode van stromingsvraagstukken voor

zover deze althans bedoeld zijn voor het oplossen van in de practijk voorkomende problemen, nog weinig practische waarde heeft. Ik vraag mij af, of ook in gemakkelijker gevallen, waarbij men alleen met zandgronden en met afdekkende of afsluitende lagen van andere samenstelling te maken heeft, niet eveneens de vrij geringe nauwkeurigheid van randvoorwaarden en bodemconstanten een veel grotere handicap is dan de toe te passen oplossingsmethode. Met welke nauwkeurigheid is b.v. nu eigenlijk het vrijkomend of spanningsvrij poriënvolume mede in verband met een toenemende diepte onder het maaiveld te bepalen, in het geval men met niet-stationnaire stromingen te maken heeft, waarbij de grondwaterspiegel verandert in verloop van tijd.

Voor onze doeleinden kunnen we rustig constateren, dat de theoretische oplossingsmogelijkheden van een meer dan voldoende nauwkeurigheid zijn, terwijl deze bovendien relatief weinig tijd vorderen.

Nu zijn wij niet van mening, dat modelonderzoek ons in het geheel niets zou kunnen leren. Wij menen echter wel, dat de beschikbare energie en verdere middelen van ons instituut slechts éénmaal benut kunnen worden. Om deze reden hebben wij dus moeten kiezen en het modelonderzoek, behalve voor demonstratiedoeleinden, laten vallen. Belangrijker zijn voor ons de volgende problemen, waaraan dan ook met kracht wordt gewerkt.

1. Aanvulling en verbetering van doorlatendheidsbepalingen.
2. Een beter inzicht in de bouw en doorlatendheid van het bodemprofiel van liefst geheel Nederland. Wat hierover tot nu bekend is, of uit de aanwezige boorstaten bij de Geologische Stichting is af te leiden, is ten enen male onvoldoende.

Voor landbouwkundige problemen is deze kennis tot rond 40 m diepte meestal toereikend. Tot deze diepte kan met een vrij eenvoudige boorinstallatie worden volstaan, welke ook door ons instituut werd aangeschaft.

De bedoeling is geheel Nederland op zoveel plaatsen af te boren, tot een voldoend inzicht is verkregen. De beschikbare gegevens van boringen werden natuurlijk bij het uitkiezen van de boorplekken mede in aanmerking genomen. Tijdens de boringen worden grondmonsters genomen, waarvan de granulaire samenstelling wordt bepaald. Hieruit is enerzijds een veel betere indruk te verkrijgen, waar de z.g. afsluitende of afdekkende lagen liggen; terwijl anderzijds hieruit ook de grootte van de doorlatendheid is af te leiden. Deze laatste cijfers zullen overigens door pompproeven worden gecontroleerd, waarvoor eveneens de benodigde apparatuur werd aangeschaft.

De hiervoor genoemde grondmonsters zullen tevens op het Geologisch Instituut nader onderzocht worden om o.a. het maken van verticale doorsneden meer verantwoord mogelijk te maken.

Tegelijkertijd zullen watermonsters op de gebruikelijke manier worden genomen, welke door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening zullen worden onderzocht. De kwaliteit van het water wordt daarmede tevens vastgelegd. Dit geschiedt, wat het Cl'-gehalte betreft ook door het nemen van monsters tijdens het boren, waarin dit

Cl-ion gehalte wordt bepaald. Regel is echter, dat dit uit het geleidingsvermogen van de suspensie onder in de boorbuis tijdens het boren bepaald, wordt afgeleid, waarvoor een apparaat werd gemaakt door de Physisch-Technische Dienst van de Landbouw te Wageningen. Tevens werden doorgaans in een boorgat 1 of 2 peilbuizen op wisselende diepte geplaatst in samenwerking met het Archief voor Grondwaterstanden te Den Haag.

Op de te maken kaarten en dwarsdoorsneden zullen alle verkregen gegevens worden verwerkt. Ook ligt het in de bedoeling hierop tevens alle bodemconstanten te vermelden, zoals deze ook uit reeds verrichte pompproeven zijn afgeleid, waarvoor medewerking verzocht werd van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. Het komt mij voor, dat hiermede de benodigde kennis van bouw, samenstelling en doorlatendheid van het bodemprofiel voor een belangrijk deel verkregen wordt. De provincie Zeeland is inmiddels bijna gereed gekomen.

Een verdere taak van ons instituut is overigens verder nog om exacte oplossingen tot eenvoudige formules met behulp van hulptabellen, diagrammen enz. te herleiden. Hierbij moet het streven er op gericht zijn een voldoende nauwkeurigheid te behouden. Ons streven moet er verder op gericht zijn deze oplossingen zo te vereenvoudigen, dat zij snel zijn uit te voeren en dat zij tevens door een zo groot mogelijk aantal belanghebbenden kunnen worden toegepast.

DISCUSSIE

Prof. Ir J. TH. THIJSSE vraagt of het inderdaad mogelijk is gebleken de doorlaatfactor k te bepalen met behulp van grondmonsters ondanks:

a. de onzekerheid in het poriëngehalte bij de grove zanden.

b. de invloed van scheuren bij de kleigronden.

De INLEIDER antwoordt hierop, dat in geroerde grondmonsters k alleen bepaald kan worden indien deze gronden in de natuurlijke ligging geen structuur bezitten, d.w.z. zandgronden met minder dan rond 5 % slib. In kleigrond moet dan ook de doorlatendheid in de natuurlijke omstandigheden worden bepaald. Het poriënvolume van zandgronden kan uit het vochtgehalte van de grondmonsters worden berekend (geen lucht aanwezig). In zandgronden op grotere diepte treden in dit poriënvolume geen grote verschillen op. Vaak ligt dit in tussen 25 en 35 vol.procenten. Bovendien bleek het poriënvolume van de grond in het apparaat voor de bepaling van de doorlatendheid weinig te verschillen van dat ter plaatse (bepaald via vochtgehalten).

Aanvullend op Prof. THIJSSE stelt Prof. W. R. VAN WIJK de vraag hoe men middelt over grondmonsters, die uiteenlopende k-waarden geven.

Hierop antwoordt de heer HOOGHOUDT, dat tijdens de boring van iedere gelijkblijvende laag een grondmonster wordt genomen, tenzij de dikte hiervan groter is dan 1,5 m. In dat geval wordt per 1,5 m een afzonderlijk monster genomen. In deze monsters wordt de k-waarde bepaald. Voor iedere laag wordt de dikte hiervan vermenigvuldigd met de doorlaatfactor van deze laag. De som van deze producten van de gehele zandlaag wordt nu gedeeld door de totale dikte van de zandlaag, waarmede de gemiddelde doorlaatfactor van de gehele zandlaag is verkregen. Deze komt in grootteorde goed overeen met de doorlatendheid, welke door middel van pompproeven in b.v. grove zanden worden bepaald, nl. tussen 15 en 25 m/24 uur.

Ir P. DE GRUYTER wijst er op, dat Dr HOOGHOUDT niet gesproken heeft over de omrekeningsformules (KOZENY o.a.) die in zijn publicaties worden genoemd. Hecht hij daar geen waarde meer aan?

De INLEIDER merkt op, dat bij de bepaling van de k-waarde in het laboratorium het poriënvolume (p) en de viscositeit η (vastgelegd door de temperatuur (t)) van het water bekend zijn. Is het poriënvolume in de natuurlijke ligging van zandgronden bekend, dan kan omrekening van p en t tijdens de bepaling in het laboratorium op die in de natuurlijke omstandigheden (t ca 13° C) plaatsvinden met behulp van de formule van KOZENY $k = \frac{A}{\eta} \frac{p^3}{(1-p)^2}$, waarin A voor dezelfde grond een constante voorstelt.

Prof. Ir J. TH. THIJSSE merkt op, dat de ervaring met zandmonsters uit een Zuiderzeeboring een veel grotere variatie geeft in k met het poriëngehalte dan uit de mededeling van Dr HOOGHOUDT zou blijken. De voorlopige indruk is, dat de variatie ongeveer overeenkomt met die, welke door de formule van KOZENY is aangegeven; misschien is deze nog sterker. Met behulp van een pompproef zou men hierin een inzicht kunnen krijgen.

N.a.v. deze opmerking deelt de INLEIDER mede, dat het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. niet beschikt over middelen om het poriënvolume van gronden op grotere diepte te bepalen. De enige mogelijkheid was via vochtbepalingen, welke laatste niet nauwkeurig zijn. Door gelijktijdig uitvoeren van een pompproef kan de verkregen (gemiddelde) doorlaatfactor van de zandlaag volgens beide methoden worden vergeleken. Onze indruk is, dat de overeenstemming binnen enige tientallen procenten dezelfde zal zijn. Deze vergelijking vond nog niet plaats; de overeenstemming zal hieruit moeten blijken.

Prof. Ir W. C. W. A. GEUZE deelt in aanvulling op de mededeling van Prof. VAN WIJK mede, dat ook met betrekking tot de mechanische eigenschappen zich de noodzaak voordoet de variaties van die eigenschappen over grondmassa's *in het terrein zelve* te bepalen; de ontwikkeling gaat in de grondmechanica in dezelfde richting. De discussie THIJSSE–HOOGHOUDT komt eigenlijk neer op de vraag: hoe kan men het poriënvolume van een zandmonster bepalen? Hiervoor beschikt men over injectiemethodes (Shellperm-procédé) o.a. toegepast bij het onderzoek t.b.v. de Maastunnel.

In antwoord op de mededeling van Prof. THIJSSE wordt de afwijking van de formule van KOZENY volgens Prof. GEUZE bepaald door de verdeling der *korrelgrootten;* bij een gelijkmatige korrelgrootte-verdeling moet de formule dus kloppen.

In antwoord op een opmerking van Prof. Ir J. W. THIERRY deelt spreker mede, dat bij de injectie de nodige voorzorgen genomen moeten worden om het poriënvolume niet te beinvloeden (persdruk, voldoende tijd nemen).

Dr Ir P. C. LINDENBERGH vraagt de inleider of pompproeven worden verricht.

Deze antwoordt hierop, dat het laboratorium van het Landbouwproefstation beschikt over een eigen boorinstallatie voor het uitvoeren van boringen tot 40 m. Wij hebben echter een volledige installatie in bestelling om eveneens zelf pompproeven te verrichten. In de toekomst hopen wij hiermede een flink aantal pompproeven te verrichten.

Prof. W. F. J. M. KRUL is van mening, dat de gevoerde discussie los moet worden gezien van de kwestie modelonderzoek of niet. Modelonderzoek is nodig, als de wetten, waaronder zich een verschijnsel afspeelt, zo ingewikkeld zijn, dat ze aan de berekening ontsnappen. Dr HOOGHOUDT meent, dat zijn verschijnselen aan zo eenvoudige wetten gehoorzamen, dat ze voor berekening toegankelijk zijn. Dan is dus geen model nodig. De discussie heeft zich nu ontwikkeld over de vraag, of de doorlatendheid van grondlagen aan grondmonsters kan worden bepaald. Spreker meent, dat ook bij de meest verfijnde methode van conserveren en analyseren van een grondmonster, altijd een zeer grove extrapolatie moet worden verricht, omdat de heterogeniteit van de bodem zo groot is. Daarom zijn pompproeven zo nuttig; men bedenke, dat modelproeven ook van een geïdealiseerde toestand uitgaan en dus evenzeer tot grove extrapolatie moeten leiden.

De INLEIDER antwoordt hierop, dat uit de ervaringen tot heden geen andere conclusie is te trekken, dan dat een gemiddelde doorlaatfactor van de gehele zandlaag uit in grondmonsters bepaalde doorlaatfactoren is af te leiden, die wat althans de grootte-orde betreft overeenstemt met die, welke uit pompproeven zou worden afgeleid.

Dr Ir P. C. LINDENBERGH merkt het volgende op: Prof. GEUZE en Prof. THIJSSE spraken over pompproeven om de doorlatendheid van de grond ter plaatse te leren kennen. Dr HOOGHOUDT heeft gezegd, dat hij materiaal voor pompproeven zal aanschaffen. Mijn vraag is nu: heeft Dr HOOGHOUDT pompproeven toegepast en de resultaten daarvan vergeleken met zijn berekende doorlatendheid van de grondmonsters te zelfder plaatse?

Dr HOOGHOUDT antwoordt hierop, dat vergelijkend onderzoek nog niet is geschied, maar zo spoedig mogelijk zal worden uitgevoerd.

Ir W. C. VISSER merkt op, dat de nauwkeurigheid van de bepaling van doorlaatfactoren op grotere diepte onzeker werd geacht. Materialiseert zich deze onzekerheid bij de landbouwkundige vraagstukken in een variabiliteit, die de toelaatbare grenzen bij drainage en infiltratie overtreft?

Dr HOOGHOUDT deelt mede, dat een en ander afhangt van de omstandigheden. Voor dikke lagen klei-, zavel- of veengronden was tot heden de doorlatendheid op grotere diepte dan ca 2 à 2½ m practisch niet te bepalen. Verwaarloost men de doorlatendheid van de dieper gelegen lagen, dan kunnen de berekende afstanden van drainage- of infiltratiesystemen niet onbelangrijk te klein uitvallen, d.w.z. dus erg aan de veilige kant zijn. In de laatste tijd is een methode op ons instituut ontwikkeld, welke de bepaling van deze doorlatendheid mogelijk maakt. Hiermede is echter nog te weinig ervaring verkregen om iets over de nauwkeurigheid te kunnen mededelen. Waarschijnlijk is de nauwkeurigheid van de bepaling zelf belangrijk groter dan de variatie in de doorlatendheid van plek tot plek.
Voor zandgronden kan m.i. de doorlatendheid met voldoende nauwkeurigheid uit de tijdens de boring genomen grondmonsters worden bepaald, aangezien het poriënvolume met voldoende nauwkeurigheid uit de vochtgehalten (lucht is niet aanwezig) kan worden afgeleid.
Samenvattend kan men dus zeggen, dat er inderdaad diverse gevallen voorkomen, waarvoor de doorlatendheid van dieper gelegen lagen voldoende nauwkeurig bekend moet zijn.

Prof. Ir E. C. W. A. GEUZE vraagt of de vraag van Ir VISSER zo moet worden geïnterpreteerd, dat bij stromingsproblemen nabij de oppervlakte (drains, sloten) het aandeel der diepe lagen relatief zo gering wordt, dat een grove benadering (gemiddelde doorlatendheid tussen de uitersten van pakkingsdichtheid) van de doorlatendheid van *deze* lagen een voldoende nauwkeurige oplossing oplevert.

De INLEIDER antwoordt hierop het volgende: Bij homogeen doorlatende gronden is de doorlatendheid van betekenis tot een diepte van ca ¼ van de afstand van de drainage- of ontwateringssystemen. Of de doorlatendheid tot een dergelijke diepte bekend moet zijn, hangt af van de werkelijk optredende bouw en doorlatendheid van het profiel. Voor zandgronden kan, zoals ik reeds vaker opmerkte, de doorlatendheid met een voldoende benadering worden afgeleid uit de genomen grondmonsters. Een vergelijking tussen de aldus bepaalde doorlaatfactoren en die volgens andere methoden verkregen, vond nog te weinig plaats om de juistheid hiervan met zekerheid vast te stellen. We vergeleken echter doorlaatfactoren, verkregen via grondmonsters met die, bepaald via peilbuizen (filters tot 16 m diepte). Deze laatste methode berust op de stijgsnelheid van water in peilbuizen, nadat hieruit eerst een hoeveelheid water is onttrokken. De overeenkomst was o.i. bevredigend. De met de peilbuizen bepaalde doorlaatfactoren waren slechts 25 % groter dan die, verkregen via grondmonsters.

Ir W. C. VISSER merkt op, dat de discussie zich sterk met de methodiek heeft bezig gehouden. Daarbij is de nauwkeurigheid ter sprake gekomen. Nauwkeurigheid heeft speciale betekenis, wanneer de vereiste nauwkeurigheid ten behoeve van de toepassing als norm gesteld wordt. Bij de voordrachten zou men met grote belangstelling geluisterd hebben naar meer gedetailleerde beschouwingen over de verhouding tussen de noodzakelijke en nagestreefde exactheid en nauwkeurigheid in verband met de verschillende vraagstukken, die men ter oplossing voorgelegd kan krijgen. Ook zou het van belang zijn meer in detail te vernemen, voor welk type van vraag de verschillende modelproeven gedacht zijn.
Dit zou ongetwijfeld meer tijd voor elke inleiding gevraagd hebben. Zou het belang van dit modelonderzoek het geven van dergelijke uitgebreide uiteenzettingen niet nog eens waard zijn?

De INLEIDER is van mening, dat de vereiste nauwkeurigheid in sterke mate wordt bepaald door het op te lossen probleem. Ook de vraag of en zo ja welk type model men zal kiezen, hangt hiermede samen.

Ir VAN DER MOLEN wijst er op, dat in het door Dr HOOGHOUDT genoemde geval van een grote scheuren bevattend bodemprofiel de boorgatenmethode inderdaad uitkomsten geeft, die voor de bepaling van drainafstanden niet bruikbaar zijn. In dit geval, dat in de Zuiderzeepolders regel is, kan de drainafstand vrij nauwkeurig bepaald worden door een visuele beoordeling van de wanden van daartoe gegraven profielkuilen.

Dr HOOGHOUDT deelt mede, dat de door Ir VAN DER MOLEN gevolgde methode door hem nog niet werd toegepast, waardoor de nauwkeurigheid hiervan niet kon worden beoordeeld.

Ir A. G. BRUGGEMAN vraagt of de boorgatenmethode van Dr HOOGHOUDT ook aan een model is onderzocht.

Dr HOOGHOUDT antwoordt, dat deze methode inderdaad ca 15 jaar geleden met een eenvoudig model is onderzocht. Nauwkeuriger werd deze methode met een toestel nog eens bestudeerd door KIRKHAM (Theory of seepage into auger holes, van D. KIRKHAM en C. H. VAN BAVEL; VAN BAVEL en KIRKHAM: Field measurement of soil permeability using auger holes, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1948). Dit onderzoek was echter onvolledig. Drs ERNST van ons instituut vulde de ontbrekende gegevens door wiskundige berekeningen verder aan. De door mij opgestelde vergelijking voor de berekening van de doorlaatfactor geeft in de meeste practisch voorkomende gevallen voldoend nauwkeurige uitkomsten. De nieuwe opgestelde berekeningsmethode is echter nauwkeuriger en steeds toe te passen.

III. ONDERZOEK VAN GRONDWATERSTROMEN AAN TWEE- EN DRIE-DIMENSIONALE GRONDMODELLEN

J. TH. THIJSSE

Waterloopkundig Laboratorium, Delft

Aangezien Prof. THIJSSE zijn inleiding niet op schrift had gesteld, moet volstaan worden met onderstaand resumé:

Theoretische berekening, gebaseerd op waarnemingen in het te onderzoeken grondmassief zelf, is te verkiezen bij het onderzoek van grondwaterstromingen. Het is echter in veel gevallen niet mogelijk een dergelijke berekening uit te voeren, in het bijzonder bij ingewikkelde gevallen (randvoorwaarden).

Dan moeten modelproeven te hulp komen. Er wordt medegedeeld, hoe die proeven kunnen worden ingericht. De aandacht wordt daarbij ook geschonken aan grondpakketten, opgebouwd uit lagen van verschillende doorlatendheid, en aan het voorkomen van vloeistoffen van verschillende dichtheid bij elkander.

IV. DE BETEKENIS VAN HET MODELONDERZOEK VAN GRONDWATERSTROMINGEN VOOR DE GRONDMECHANICA

E. C. W. A. GEUZE

Laboratorium voor Grondmechanica, Delft

In de grondmechanica bestaat een grote belangstelling voor deze categorie van onderzoekingen als het gaat om de bepaling der krachten, welke door stromend water op de grond worden uitgeoefend. De bekendheid met deze krachten is noodzakelijk bij de bestudering van de vraagstukken van stabiliteit en deformatie.

Zelfs in het eenvoudigst denkbare geval, dat een waterkering (dijk of dam) wordt doorstroomd onder constant drukverschil (stationnaire stroming) is een modelonderzoek nodig om de spanningen van het water aan de benedenstroomse zijde te bepalen, wegens de invloed der capillaire stroming, die bij fijnkorrelig materiaal van grote betekenis is. In dit geval kunnen binnen bepaalde grenzen modellen worden toegepast van korrelig materiaal met een op schaal verkleinde capillaire stijghoogte. Het korrelskelet dient voorts te voldoen aan de eis van voldoende starheid, opdat de door wijzigingen der waterspanningen veroorzaakte volume-variaties het bereiken van de permanente stromingstoestand niet te zeer vertragen. Onderzoekingen hebben aangetoond, dat het stromingsbeeld (met inbegrip van het gebied van het capillair gesloten water) dan evenzeer voldoet aan de vergelijking van LAPLACE, als bij afwezigheid van capillaire effecten. De bovenste begrenzing van het stroombeeld (grens van de capillair gesloten zone) kan slechts op deze wijze bij benadering worden bepaald; langs de weg van berekening gelukt dit niet. Een belangrijk voordeel van het onderzoek der stromingen in modellen van korrelige materialen wordt verkregen door de mogelijkheid om bij twee-dimensionale stromingsgevallen de stroomlijnen zichtbaar te maken met behulp van kleurstoffen en tevens de stijghoogten van het water in het model te bepalen. Deze mogelijkheid wordt benut om de homogeniteit van het model t.a.v. de doorlatendheid te toetsen.

De afwijkingen van de orthogonaliteit van stroomlijnen en potentiaallijnen vloeien in hoofdzaak voort uit inhomogeniteit van het model en meet-technische fouten.

Een uitgebreid gebied van toepassing vindt het modelonderzoek bij de bestudering der niet-stationnaire grondwaterstromingen in zeer samendrukbare, weinig doorlatende korrelstelsels. De niet-stationnaire stroming treedt op als gevolg van een drukverhoging op het stelsel waterkorrels, waardoor een stroming wordt opgewekt naar de eindige begrenzingen. Deze stroming is een functie van plaats en tijd, *omdat waterhoeveelheden worden onttrokken*, welke overeenkomen met de toenemende dichtheid van het korrelskelet. Nabij de begrenzing kan de afstroming van een bepaalde waterhoeveelheid per tijdseenheid uiteraard onder geringere verhangen plaatsvinden, dan een overeenkomstige hoeveelheid, welke een langere weg in hetzelfde tijdsverloop moet doorlopen.

De mathematische oplossing van dit vraagstuk is door TERZAGHI gegeven voor het speciale geval van een één-dimensionale stroming en geïdealiseerde mechanische eigenschappen van het korrelskelet.

De hier te lande voorkomende grondsoorten, klei en veen, hebben echter zodanig afwijkende eigenschappen, dat een modelonderzoek noodzakelijk is, waarbij in hoofdzaak de waterspanningen worden gemeten als functie van de tijd naast de verdichting van het model.

Deze resultaten worden getoetst aan het gedrag van bodemlagen, waarbij overeenkomstige metingen worden uitgevoerd.

Het is gebleken, dat deze niet-stationnaire stromingen zich niet lenen voor een mathematische behandeling. Het modelonderzoek is dus ook hier van grote betekenis.

V. SPLEETMODELLEN

Namens G. SANTING *voorgedragen door* G. P. FELIUS, *medewerkers bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening*

1. Inleiding

In 1942 werd in het hydrologisch laboratorium van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening het voor Nederland eerste z.g. spleetmodel geconstrueerd, in hoofdzaak bestaande uit twee evenwijdige platen met een nauwe spleet er tussen, waar doorheen men een visqueuze vloeistof liet stromen. Sindsdien zijn er een groot aantal zeer uiteenlopende onderzoekingen met dit model verricht en werd het geleidelijk verder ontwikkeld en verfijnd. Men heeft aldus een inzicht in de mogelijkheden en de beperkingen van dit soort modellen kunnen verkrijgen.

2. Grondbeginsel van het spleetmodel

Laat men een visqueuze vloeistof laminair stromen door een nauwe spleet, dan is volgens de Wet van Poiseuille de stroomsnelheid evenredig met het potentiaalverval in de spleet.

$$v_m = -\frac{1}{12} g \frac{b^2}{\nu} \frac{d\varphi}{ds} \quad \ldots \quad (1)$$

waarin

v_m = de snelheid van de vloeistof op een punt in de spleet, gemiddeld over de wijdte van de spleet;

g = de versnelling van de zwaartekracht;

b = de wijdte van de spleet;

ν = de kinematische viscositeit van de vloeistof;

$\frac{d\varphi}{ds}$ = het potentiaalverval in de spleet.

(eenheden in het c.g.s.-stelsel.)

Voor de grondwaterstroming geldt de Wet van Darcy, welke eveneens zegt, dat de stroomsnelheid evenredig is met de potentiaalgradiënt:

$$v = -k \frac{d\varphi}{ds} \quad \ldots \quad (2)$$

De overeenkomst tussen deze beide wetten maakt, dat men grondwaterstromingen kan nabootsen door de laminaire stroming van een visqueuze vloeistof in een nauwe spleet. De spleet stelt daarbij de bodem voor, de vloeistof in de spleet het grondwater. Uit de aard van het model volgt onmiddellijk, dat slechts twee-dimensionale problemen er mede kunnen worden onderzocht.

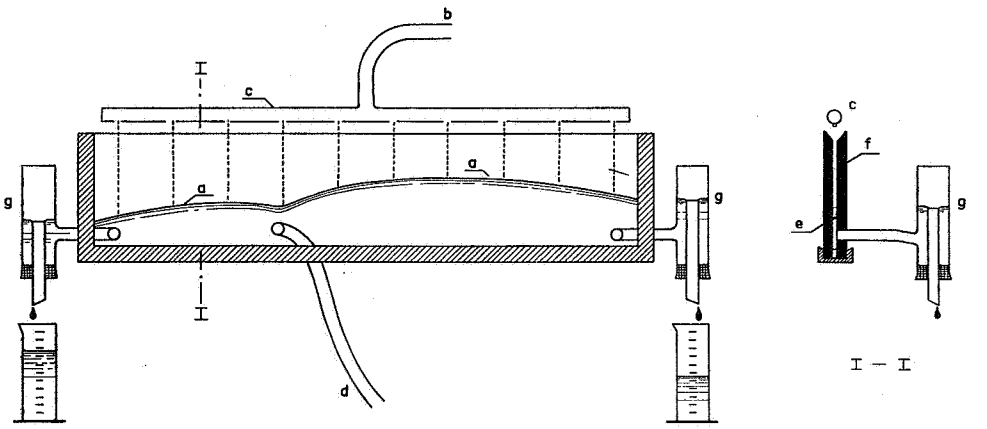
3. Beschrijving van de spleetmodellen

De spleetmodellen zijn in twee groepen te onderscheiden: die met verticale spleet en die met horizontale of flauw hellende spleet.

a. Modellen met verticale spleet

Tot dusver werd in het Rijksinstituut alleen met deze modellen gewerkt. In hun eenvoudigste vorm bestaan zij uit twee evenwijdige platen van doorzichtig materiaal, met een spleet van capillaire wijdte (tot 3 mm) er tussen (fig. 1). De lengte bedraagt 1 à 2 m, de hoogte enkele decimeters. Het model stelt dan een verticale doorsnede voor door één enkele watervoerende laag met constante doorlatendheid. De onderkant van het model vertegenwoordigt de ondoorlatende basis van deze laag, de vloeistofspiegel in de spleet het phreatisch vlak. Als gevolg van de keuze van de modelschalen zal de spleet een grondlaag nabootsen, waarvan de doorlatendheid in horizontale richting in het algemeen niet gelijk is aan die in verticale richting: anisotropie.

Fig. 1. Schematische voorstelling van een spleetmodel



a = phreatisch vlak
= *groundwater table*
= *niveau phréatique*

b = toevoer van regen
= *supply of rain*
= *adduction de pluie*

c = sproeier
= *sprinkler*
= *tuyau d'arrosage*

d = afvoerleiding
= *discharge tube*
= *tuyau de décharge*

e = vloeistof
= *viscous liquid*
= *liquide visqueux*

f = doorzichtige platen
= *transparent plates*
= *plaques transparentes*

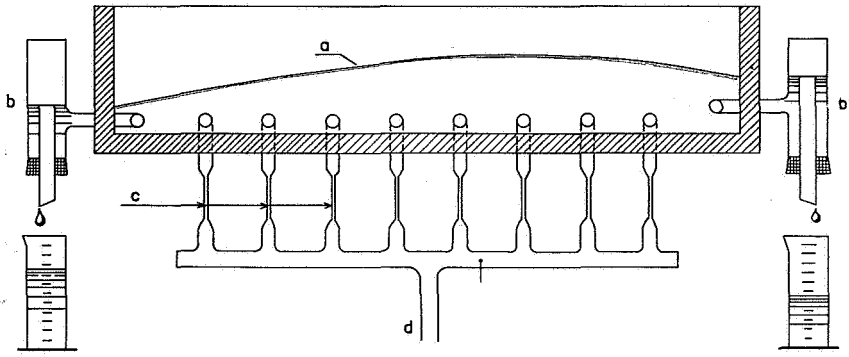
g = overloop
= *vertically adjustable overflow*
= *régulateur de niveau*

I-I = verticale doorsnede I-I
= *cross section I-I*
= *coupe transversale I-I*

Fig. 1. *Schematic representation of a model consisting of two parallel plates with a narrow gap between*

Fig. 1. *Représentation schématique d'un modèle à interstice étroit entre deux plaques parallèles*

FIG. 2. Spleetmodel met regen en verdamping



a = phreatisch vlak
= *groundwater table*
= *niveau phréatique*

b = overloop
= *overflow*
= *régulateur de niveau*

c = capillairen
= *capillary tubes*
= *tubes capillaires*

d = toevoer van regen en afvoer van verdamping
= *supply of rain*
= *adduction de pluie et décharge d'évaporation*

FIG. 2. *Model with imitation of rainfall and evaporation*

FIG. 2. *Modèle avec imitation de la pluie et de l'évaporation*

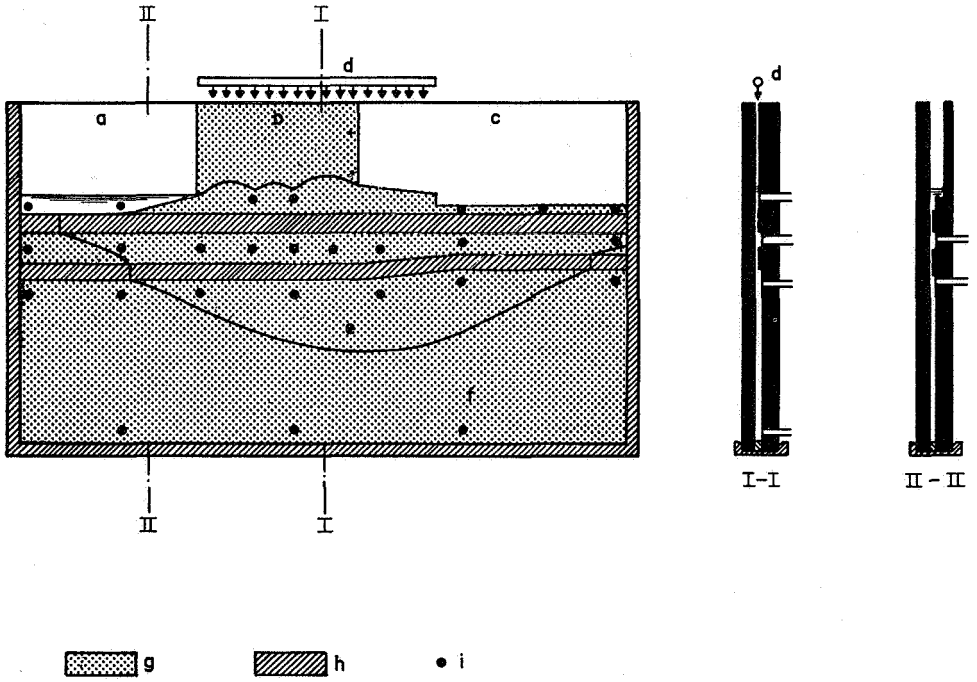
De voeding van het grondwater door de neerslag kan worden nagebootst door uit een boven de spleet geplaatste en van fijne gaatjes voorziene buis (sproeier) vloeistof in de spleet te laten druppelen. De hoeveelheid hiervan kan men desgewenst met de seizoenen laten variëren.

Verdamping kan men imiteren door een over de lengte van het model gelijkmatig verdeelde hoeveelheid vloeistof te onttrekken met behulp van een groot aantal beneden het vloeistofniveau in de modelwand aangebrachte aftapbuisjes (fig. 2). Uiteraard kan langs deze weg ook de neerslag worden toegevoerd.

Randvoorwaarden kunnen worden verwezenlijkt door op de daarvoor in aanmerking komende plaatsen in de spleet vloeistof toe of af te voeren en het vloeistofniveau te regelen met behulp van verticaal verstelbare, met de spleet in verbinding staande overloopvaten (fig. 1 en 2).

Een verdere ontwikkeling van het model leidde tot het nabootsen van een bodemgesteldheid met grondlagen van verschillende doorlatendheid. Dit is mogelijk door verschillende spleetwijdten in het model toe te passen: de nauwste gedeelten van de spleet, die dus de grootste weerstand aan de vloeistofbeweging zullen bieden, geven daarbij de grondlagen met geringe doorlatendheid weer; de wijdste delen stellen goed doorlatende bodemlagen voor (fig. 3). De vereiste spleetwijdten kunnen met behulp van modelschalen worden berekend uit de doorlatendheidscoëfficiënten der grondlagen.

FIG. 3. Spleetmodel voor het onderzoek van de duinhydrologie



a = zee
= *sea*
= *mer*

b = duinen
= *dunes*
= *dunes*

c = polders
= *polders*
= *polders*

d = sproeier
= *sprinkler*
= *tuyau d'arrosage*

e = zoet water
= *fresh water*
= *eau douce*

f = zout water
= *salt water*
= *eau salée*

g = spleet, die watervoerende zandlagen voorstelt
= *gap representing aquifers*
= *interstice représentant des couches aquifères*

h = nauwere spleet, die weinig-doorlatende lagen voorstelt
= *smaller gap, representing layers of small permeability*
= *interstice plus étroit, représentant des couches de faible perméabilité*

i = aansluitingen aan toe- en afvoerleidingen, overloopvaten, manometers enz.
= *points of connection of supply and discharge tubes, manometers, etc.*
= *points de connection des tuyaux d'adduction et de décharge, des manomètres, etc.*

I-I = doorsnede I-I
= *cross section I-I*
= *coupe transversale I-I*

FIG. 3. *Model for research of groundwater flow in dune areas*

FIG. 3. *Modèle pour l'étude du régime de la nappe des dunes*

Ook open water kan worden nagebootst, door ter plaatse van die gedeelten van de spleet, die een doorsnede over het open water voorstellen, de wijdte zodanig te vergroten, dat de weerstand van de vloeistofstroming hier te verwaarlozen klein is in vergelijking met de weerstand in de gedeelten van de spleet, die grondlagen nabootsen (fig. 3).

Ten slotte kan men de stroming van zoet en zout grondwater onderzoeken door gebruik te maken van twee modelvloeistoffen met een zeker verschil in soortelijk gewicht en een verschil in viscositeit. Ter onderscheiding wordt een van deze vloeistoffen gekleurd.

b. Modellen met een horizontale of flauw hellende spleet

In deze modellen stelt de spleet de watervoerende grondlaag in haar geheel voor. In verticale richting kunnen geen, in horizontale richting wel plaatselijke verschillen in doorlatendheid worden nagebootst.

4. Mogelijkheden en beperkingen van het spleetmodel

Het spleetmodel heeft de volgende voordelen:

a. Men kan niet-permanente stromingen nabootsen door de randvoorwaarden met de tijd te variëren.

b. De vloeistofstromingen zijn zichtbaar te maken en dus fotografisch vast te leggen.

c. Het model kan door een goede keuze van de schalen bruikbaar worden gemaakt voor het onderzoek van een vrijwel onbeperkt aantal verschijnselen van zeer uiteenlopende aard.
Voor de horizontale schaal van het model met verticale spleet zijn in het laboratorium van het Rijksinstituut b.v. waarden gebruikt tussen 1 : 300 en 1 : 10 000, voor de verticale schaal waarden tussen 1 : 100 en 1 : 1000. Door het kiezen van een modelvloeistof met een geschikte viscositeit heeft men eveneens de tijdschaal volledig in de hand. Immers, hoe visqueuzer de vloeistof, des te langzamer zal het verschijnsel zich in het model afspelen. Aldus waren tijdschalen tussen 1 : 10 000 en 1 : 5 000 000 mogelijk.

d. Niet alleen de stroming van zoet en zout water kan worden onderzocht, doch eveneens enigermate het optreden en de stroming van zones van gemengd water, zoals het optrekken van brakwaterkegels door pompputten in duingebieden.

e. Hoewel de bodemgesteldheid van het te onderzoeken gebied uiteraard in het model meer of minder sterk geschematiseerd zal worden voorgesteld, behoeft deze schematisering toch veelal belangrijk minder ver te gaan dan voor berekeningen nodig zou zijn.

Anderzijds zijn er ook vrij veel beperkingen ten aanzien van de toepassingsmogelijkheden der spleetmodellen.

De belangrijkste beperking wordt veroorzaakt doordat slechts twee-dimensionale problemen kunnen worden onderzocht.

De te bereiken nauwkeurigheid is eveneens beperkt. Zij hangt van zeer veel factoren af, waarvan de voornaamste zijn:

a. De mate van schematisering;

b. De afleesnauwkeurigheid, welke zelf weder grotendeels wordt bepaald door de gekozen afmetingen van het model, de tijdschaal, de bekwaamheid der aflezers;

c. De technische afwerking van het model;

d. Het voorkomen van niet-realiseerbare randvoorwaarden of betrekkingen tussen de modelschalen.

Zonder dat hierop diep behoeft te worden ingegaan, kan deze laatste moeilijkheid aan de hand van een voorbeeld snel worden toegelicht.

Een der voorwaarden die uit de vergelijkingen van de grondwaterstroming en de betrekkingen tussen de modelschalen zijn af te leiden, luidt:

$$\frac{\beta}{b} = \text{constant} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

Hierin is β het werkzaam poriëngehalte van de bodem, b de spleetwijdte van het model. Zoals reeds is gezegd, kan in het model b verschillende waarden hebben. Ook β zal in de natuur sterk variëren en b.v. voor zand groter zijn dan voor klei. Het is echter zeker niet te verwachten, dat de variaties van β zodanig zijn, dat steeds voldaan wordt aan voorwaarde (3).

In de practijk blijken de bezwaren van dergelijke incongruenties in het algemeen mee te vallen, zodat de nauwkeurigheid van de uitkomsten der modelproeven meestal bevredigend is. De fouten kunnen variëren van enkele procenten bij de eenvoudige proeven, tot 10, 20% of soms meer bij gecompliceerde modellen.

5. Overzicht van de problemen, die met behulp van spleetmodellen kunnen worden onderzocht

Samenvattend kan men zeggen, dat met behulp van het spleetmodel (tweedimensionale) problemen kunnen worden onderzocht, die betrekking hebben op:

zowel permanente als niet-permanente stromingen;
anisotrope gronden;
de stroming van zoet en zout grondwater.

Ten einde een vergelijking tussen de toepassingsmogelijkheden der verschillende soorten modellen mogelijk te maken, worden hier enkele van dergelijke problemen met name genoemd.

1. De invloed van de variaties in neerslag en verdamping op de grondwaterstand en op de grootte van de ondergrondse afstroming van de watervoerende laag.
2. De invloed van grondwateronttrekking en kunstmatige grondwateraanvulling.
3. De invloed van peilverlagingen, zoals het droogleggen van meren.

4. De gevolgen van het maken van diepe ontgravingen, zoals zandwinningen in polders of boezemgebieden.
5. De hydrologie van kustgebieden.
6. Stroomvelden in watervoerende pakketten met een grillige begrenzing of wel met een grillige opbouw uit lagen van verschillende doorlatendheid.

6. Vooruitzichten van het onderzoek met spleetmodellen

Tot dusver werden de proeven in het laboratorium van het Rijksinstituut met vrij eenvoudige middelen uitgevoerd. Het is echter mogelijk op groter schaal gebruik te gaan maken van automatische regeling van de randvoorwaarden, zoals het automatisch instellen van overloopvaten alsook van automatische registrering van vloeistofhoogten, drukken, debieten enz. Ook de constructie van de modellen zou in enkele onderdelen nog wel iets kunnen worden verfijnd. De te bereiken nauwkeurigheid zou daarmede nog wat worden verhoogd.

LITERATUUR

Dachler, R. — Grundwasserströmung. J. Springer, Wien, 1936.

Dietz, D. N. — Een modelproef ter bestudering van niet-stationnaire bewegingen van grondwater. *Water* (1941) No 23.

Günther, E. — Untersuchungen von Grundwasserströmungen durch analoge Strömungen zäher Flüssigkeiten. *Forsch. Ing. Wesen*, Band 11, Ausgabe A, Heft 2, Maart/April 1940, p. 76–88.

Krul, W. F. J. M., en F. A. Liefrinck. — Recent Groundwater Investigations in the Netherlands. Monograph No 5 on the progress of research in Holland during the war. Elseviers Uitgevers Mij, Amsterdam, 1946.

Uppal, Harbans Lal, and Ahmad, Mushtaq. — A new method for demonstrating the flow of water under models of works and the pressures on the floor. *Water and Water Engineering*, Vol. 50. No 616, Juni 1947.

Cedergren, H. R. — Investigation of drainage rates affecting stability of earth dams. *Trans., Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 113 (1948) p. 1285–1294.

Santing, G. — Infiltratie en modelonderzoek. *Water* (1951) Nos 21 en 22.

DISCUSSIE

Dr Ir P. C. Lindenbergh merkt op, dat op de vertoonde lichtbeelden bij de vloeistofspiegel in het model de benaming phreatisch vlak is vermeld. Moet dit niet zijn capillair vlak?

Ir Felius antwoordt hierop, dat dit laatste theoretisch inderdaad het geval zou moeten zijn. In het algemeen zal echter geen grote fout worden gemaakt door met het phreatisch vlak te rekenen in plaats van met het capillaire, omdat de dikte van de capillaire zone in de meeste gevallen gering is ten opzichte van de totale laagdikte.

Prof. Ir J. Th. Thijsse vraagt of de capillaire opstijging in het model kan worden geregeld.

De INLEIDER wijst op de middelen tot regeling van de capillaire stijghoogte, die Prof. GEUZE in zijn inleiding heeft genoemd. Dus b.v. bepaalde stoffen, die op de wanden van de spleet kunnen worden gestreken. Tot nu toe is op het Rijksinstituut nog geen gebruik gemaakt van dergelijke middelen, omdat in het algemeen de capillaire opstijging in het model zo gering is, dat zij geen storende fout veroorzaakt. Voorts is in die gevallen, waarin de capillaire zone niet mag worden verwaarloosd, haar dikte in het model veelal redelijk in overeenstemming met de hoogteschaal van de nagebootste watervoerende lagen.

Ir D. N. DIETZ stelt 3 vragen:

1. Indien de capillaire opstijging in een spleetmodel niet op schaal is, kan men deze corrigeren door bijstellen van de overloopvaten.
2. Waarom het model vlakleggen voor vlakke problemen met gevaar voor doorbuigen? Door met potentialen in plaats van drukken te werken, zou men het model verticaal kunnen laten staan.
3. Bij axiaal symmetrische problemen kan men volstaan met een sector van het stroomveld te bestuderen.

De INLEIDER bevestigt deze opmerkingen. Met de sub 2 en 3 genoemde methoden is op het Rijksinstituut tot nu toe nog niet gewerkt.

Prof. Ir C. G. J. VREEDENBURGH vraagt of de inleider iets meer kan zeggen over de nauwkeurigheid van de uitkomsten verkregen met spleetmodellen. De nauwkeurigheid van waarnemingen kan worden nagegaan met de Wet van BORGESI.

Ir FELIUS wijst er op, dat voor eenvoudige problemen uitkomsten zijn verkregen met een nauwkeurigheid van enkele %; voor ingewikkelde problemen kunnen echter afwijkingen tot 20 % en zelfs meer worden gevonden.

Prof. Ir J. W. THIERRY informeert of met het besproken beregeningsapparaat een gelijkmatige verdeling van de neerslag in het model verkregen wordt.

De INLEIDER antwoordt hierop, dat hiermee geen moeilijkheden zijn ondervonden.

Ir DIETZ merkt op, dat de verdeling van de vloeistof in het regenapparaat wordt bepaald door de weerstand van de kleine openingen en die is voor alle gelijk.

Ir C. T. DE WIT vraagt of in de spleetmodellen de verhouding van de waterberging in verschillende grondlagen overeen komt met die in de werkelijkheid.

De INLEIDER wijst er op, dat één van de voorwaarden, waaraan moet worden voldaan, luidt:

$$\frac{\beta}{b} = \text{constant.}$$

Hierin is β het werkzaam poriëngehalte van de bodem en b de spleetwijdte van het model; b kan in het model verschillende waarden hebben, terwijl ook β sterk zal variëren. Het is zeker niet te verwachten, dat de variaties zodanig zijn, dat steeds voldaan wordt aan de genoemde voorwaarde. Met Prof. GEUZE is wel eens gesproken over de mogelijkheid deze onvolkomenheid van het spleetmodel op te heffen door de spleet op te vullen met glazen bolletjes. Overigens blijkt de invloed van de incongruentie in de practijk nogal mee te vallen.

VI. EEN WARMTEMODEL VOOR GRONDWATERSTROMING

H. KUIPERS

Laboratorium voor Natuur- en Weerkunde der Landbouwhogeschool, Wageningen

Het besproken onderzoek had ten doel een door Ir C. T. DE WIT geconstrueerd model voor niet-stationnaire, twee-dimensionale stromingsproblemen van het grondwater verder te ontwikkelen. Stelt men zich b.v. een bochtige rivier voor, waarvan het water in verbinding staat met een grote watervoerende laag, waarin men de schommelingen wenst te kennen, mede onder invloed van de regenval, dan zal men voor de oplossing van een dergelijk probleem over het algemeen een reeks benaderingen toepassen zoals:

1. De rivier wordt recht verondersteld.
2. Men denkt zich het gebied homogeen en de laagdikte constant.
3. De variaties in de waterstand en in de neerslag worden door een zo eenvoudig mogelijke formule benaderd.

Deze laatste benadering en een deel van de tweede kunnen in principe vermeden worden door een modelproef met een spleetmodel. De bedoeling van het warmtemodel is om ook kromme grenzen na te bootsen. In hoeverre dit de moeite loont zal uiteraard geheel afhangen van de aard van het te onderzoeken geval.

Het uitgangspunt voor het te construeren model is de formule:

$$P.\left(\frac{d^2h}{dx^2} + \frac{d^2h}{dy^2}\right) + \frac{N}{C} = \frac{dh}{dt},$$

die zowel voor de grondwaterstroming als voor de warmtebeweging geldt. Hierin is N de neerslag, uitgedrukt als een hoeveelheid water per volume-eenheid van de grond en uiteraard per tijdseenheid, h is de drukhoogte, x en y zijn afstandscoördinaten en P is de drukvereffeningscoëfficiënt, die gelijk is aan k/C, de doorlatendheid gedeeld door de berging C. Deze laatste grootheid is de hoeveelheid water, die bij een druktoename van 1 cm water per cm^3 van de grond wordt geborgen. Deze berging hoeft niet plaats te hebben door het samenpersen van ingesloten lucht, of het water zelf, of door de elasticiteit van de grondlaag, maar kan ook opgevat worden als een berging boven het phreatisch vlak. In eerste benadering wordt C dan het spanningsvrije poriëngehalte gedeeld door de laagdikte. Deze laatste wordt dan constant verondersteld, dus moeten de schommelingen van het phreatisch vlak klein zijn t.o.v. de laagdikte. Voor het model krijgen wij dan de volgende analogieën:

Hoeveelheid water	=	hoeveelheid warmte
drukhoogte	=	temperatuur
bergingsfactor	=	specifieke warmte
doorlatendheid	=	warmtegeleidingsvermogen
drukvereff. coëff.	=	temp. vereff. coëff.

De neerslag moet dus voorgesteld worden als een extra toegevoerde hoeveelheid warmte. De verdamping is een negatieve neerslag.

De grootheden in het model krijgen de index m en er wordt gesteld:

$P = \lambda_p \, . \, P_m$ enz. Er volgt dan:

$$\lambda t = \frac{\lambda^2 x}{\lambda p} \text{ en } \lambda_N = \frac{\lambda C \, . \, \lambda h}{\lambda t}.$$

Als een gebied van enkele km's nagebootst moet worden in een model van enkele dm's is $\lambda x = 10^4$. Worden enkele tientallen km's beschouwd, dan is $\lambda x = 10^5$. Wordt verder een jaar ongeveer een uur, dan is λt = plm. 10^4, er volgt dan voor λ_P 10^4 of 10^6.

Prof. VAN WIJK en Ir DE WIT stellen voor de oostelijke Veluwerand P op $0{,}58.10^4$ (1) en voor de westelijke Veluwerand wordt in een artikel van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (2) opgegeven $P = 0{,}26.10^4$. Voor gebieden van enkele km's wordt P_m dan 0,3 à 0,6 en voor enkele tientallen km's 0,003 à 0,006. De grootste van deze waarden vindt men bij metalen als lood, koper e.d.; voor de lagere zijn meerdere stoffen te vinden.

Voor een experimenteermodel moet als eis worden gesteld, dat het gemakkelijk te veranderen is en dat de behandelde problemen na te rekenen zijn. In eerste instantie werd daarom met lood gewerkt, vermengd met wat antimoon om het beter bewerkbaar te maken. Het model werd uitgevoerd als een zo goed mogelijk vlakke loodplaat van 35 × 15 × 1 cm, met aan de smalle zijden een kanaal van messing, waarin de grensvoorwaarden geregeld moeten worden. Dit laatste geschiedt door de electrische stroom in een blanke spiraal te variëren, die uit een overloopvat aangevoerd water verwarmt. Deze voorziening had in zijn provisorische uitvoering een beperkt bereik, maar voldeed overigens heel goed. De temperaturen in het model worden automatisch geregistreerd. Zij worden gemeten met thermo-elementen (fig, 1).

Aan de isolatie moest bijzondere aandacht worden besteed, daar het warmteverlies klein moet zijn om onafhankelijk te worden van de temperatuurvariaties in het model. De opstelling werd in een met watten gevulde vacuumkist aangebracht, om de verliezen door geleiding en luchtturbulentie te drukken.

Het nabootsen van de regenval eist een speciale voorziening. Het fraaist kan dit gebeuren door het model zelf als electrische weerstand te gebruiken. Voor het loodmodel vraagt dit echter een veel te grote stroomsterkte. Wel werd dit principe toegepast bij een ontwerpmodel voor een groter gebied, vervaardigd uit hagelkorrels. Dit model gaf zijn eigen moeilijkheden en is slechts oppervlakkig beproefd. Voor het loodmodel werd de voorziening gezocht in het leggen van de verwarmingsdraden, voorlopig op het model. Het resultaat kan het best worden beoordeeld aan de hand van een uitgevoerde meting. Door bemiddeling van de Dienst Zuiderzeewerken werd inzage verkregen van een onderzoek uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening betreffende de afvoer aan de westelijke Veluwerand onder invloed van de neerslag (2). De afvoer en de waterhoogten werden hierbij berekend en ge-

FIG. 1. Overzicht van de opstelling.
Van links naar rechts:
1. Galvanometer voor contrôle van de temperatuurregeling in de kanalen.
2. Variac voor temperatuurregelingen.
3. Thermosfles voor nulpunt van de thermo-elementen.
4. Vacuumkist, gevuld met watten. De slangen zijn aan- en afvoerleidingen. Aan de voorzijde is de uitvoer van de thermo-elementen aangebracht.
5. Twee overloopvaten, met één zichtbare gebogen buis met verwarmingsspiralen.

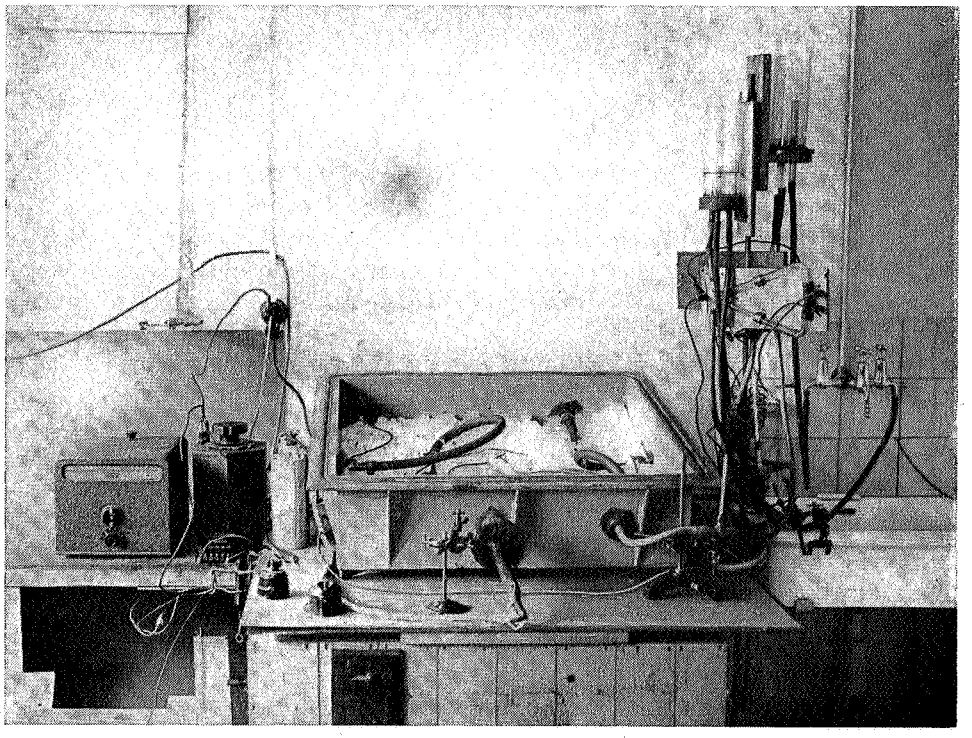


FIG. 1. *General view of the arrangement.*
From left to right:
1. *Galvanometer for measuring temperatures in the channels.*
2. *Variac for control of temperatures.*
3. *Thermos-flask for zero-point of thermo-couples.*
4. *Vacuum case filled with wadding. The rubber hoses are supply and outlet tubes. The entrance of the thermo-couples is in front.*
5. *Constant-head vessels. One bent tube with heating spiral is visible.*

FIG. 1. *Plan d'ensemble.*
De gauche à droite:
1. *Galvanomètre pour contrôler le réglage des températures dans les canaux.*
2. *Variac pour réglages des températures.*
3. *Thermos pour zéro des éléments thermoélectriques.*
4. *Caisse à vide, remplie d'ouate. Les tuyaux sont des conduites d'adduction et de décharge. Au coté avant a été aménagé l'échappement des éléments thermoélectriques.*
5. *Vases-régulateurs de niveau. Un tuyau courbé avec un spirale de chauffage est visible.*

controleerd met een spleetmodel. Er werd gewerkt met de volgende grensvoorwaarden:

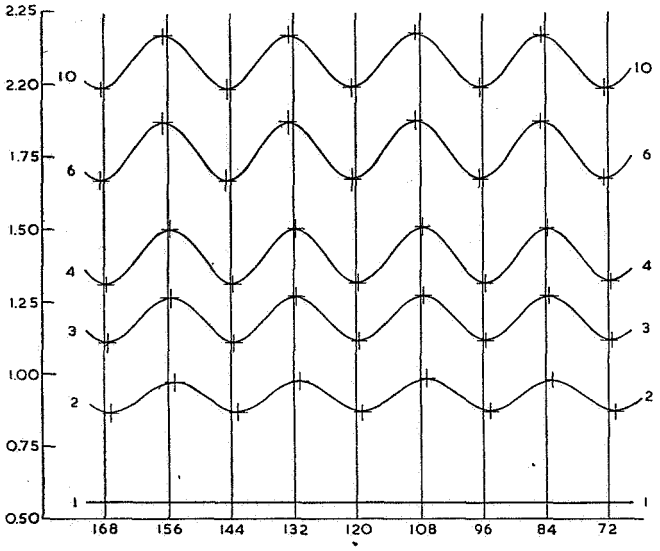
1. Constant peil in het IJsselmeer.
2. Sinussoïdaal variërende regenval, periode 1 jaar, amplitude 1 mm/etmaal.
3. Sinussoïdaal variërende waterstand aan het eind van het bestudeerde gebied.

Bij de berekening werd de waterstandsschommeling ten gevolge van de neerslag samengesteld met een denkbeeldige golf, die men zich voor kan stellen in het IJsselmeer zodanig, dat daar het peil constant is. Hierbij bleek, dat de invloed van het IJsselmeer niet verder dan 5000 m ging. Daar het verschil in waterhoogte over deze afstand te groot is om nog van een constant product k.H. in het glasplatenmodel te kunnen spreken, werd de neerslag gevariëerd van — 0,9 tot + 1,1 mm/etm. en werd het model iets scheef gezet.

Bij het warmtemodel was het niet mogelijk verdamping in te voeren. Hier is dit echter ook niet nodig, daar het product k.H. automatisch constant is. Er werd zekerheidshalve gewerkt met een strook van 7000 m. De bedoeling was de waterstandsschommelingen naar tijd en plaats te bepalen. Het sinussoïdale temperatuurverloop aan het eind van het gebied zou moeilijk te regelen zijn geweest, maar dient zich vanzelf in te stellen. Deze grensvoorwaarde werd dan ook niet gebruikt. Er werd een tijdvak van $7\frac{1}{4}$ jaar nagebootst, (een j. = ong. 25 min.) nadat al geruime tijd de gemiddelde hoeveelheid energie was toegevoerd, ten einde een evenwichtstoestand te benaderen. Op elk punt is er dan evenwicht tussen warmteaanvoer en -afvoer. De variaties in de temperatuur ten gevolge van het hierna variëren van de neerslag zullen zo klein moeten blijven, dat de variaties in de verliezen te verwaarlozen zijn. Dit eist een goede isolatie.

De resultaten zijn op een registratie vastgelegd (fig. 2). De maxima en minima zijn nauwkeurig aangegeven. De eerste drie jaren zijn buiten beschouwing gelaten, daar de toestand hier nog niet geheel periodisch was. Het is duidelijk, dat No 6 op 3500 m afwijkt. Dit ligt waarschijnlijk in een slecht contact tussen de thermo-elementen en het model. Alle elementen zijn met wat loodvijlsel vastgezet en wellicht ligt hierin de verklaring voor de waargenomen te grote fasevertragingen. De numerieke uitkomsten waren als volgt:

Afstand IJsselmeer (m)	Amplitude cm		Fasevertraging graden	
	Gemeten	Berekend	Gemeten	Berekend
700	9,8	9,2	70	56
1400	14,3	15,0	81	65
2100	17,6	18,3	83	73
2800	20,2	20,0	86	79
3500	18,8	20,6	101	84
4200	22,5	20,7	91	87
4900	20,4	20,4	92	89
5600	18,7	20,1	94	90,4
6300	17,0	19,8	100	90,6



Tijdschaal in minuten
1 periode = 24 minuten

FIG. 2.
Gedeeltelijke weergave van de registratie betreffende de afvoer aan de westelijke Veluwerand.
Tijdschaal horizontaal, van rechts naar links.
Temperatuurschaal verticaal.

No.	1	0 m*
	2	700 m*
	3	1400 m*
	4	2100 m*
	6	3500 m*
	10	6300 m*

* Afstand uit de kust

FIG. 2. *Reproduction partielle de l'enregistrement en regard de l'écoulement au bord ouest du Veluwe.*
Barème des temps horizontal, de droite à gauche.
Barème des températures vertical.

No.	1	*A une distance de* 0 *mètre de la côte*
	2	*A une distance de* 700 *mètres de la côte*
	3	*A une distance de* 1400 *mètres de la côte*
	4	*A une distance de* 2100 *mètres de la côte*
	6	*A une distance de* 3500 *mètres de la côte*
	10	*A une distance de* 6300 *mètres de la côte*

FIG. 2. *Partial reproduction of the registration regarding the drainage of the west side of the Veluwe district.*
Time scale horizontal, from right to left.
Temperature scale vertical.

No.	1	0 *metre distance from the coast*
	2	700 *metres distance from the coast*
	3	1400 *metres distance from the coast*
	4	2100 *metres distance from the coast*
	6	3500 *metres distance from the coast*
	10	6300 *metres distance from the coast*

Bij de berekeningen werd de wandweerstand buiten beschouwing gelaten. Op 3500 m en op 6300 m komen de grootste afwijkingen voor. Het punt op 3500 m is al genoemd. Het laatste punt staat onder invloed van de rand van het model, waar zich een tweede, niet verwarmd kanaal bevindt. De grootte van de amplituden klopt wel redelijk. De cijfers zijn wat hun gemiddeld niveau betreft aangepast aan de berekende cijfers, daar de effectiviteit van de verwarmingsdraden uiteraard niet 100%

is. (In dit geval was het 66,5 %, een waarde, die wel klopt met de uitgevoerde bepalingen.) De fase-vertraging is vooral dicht bij het IJsselmeer nog te groot. De oorzaak wordt gezocht in een ongunstig contact tussen model en thermolas. Verder moet er bij het beoordelen van de resultaten rekening mee worden gehouden, dat de dikte van de plaat nog een variatie van 10 % vertoont.

Wij menen het resultaat van deze metingen dan ook hoopvol te mogen noemen. Bij een verdere ontwikkeling zal men de verwarmingsdraden in het model moeten leggen; er wordt daarom overwogen kwik toe te passen. Verdamping moet met behulp van relatief zeer lage temperaturen na te bootsen zijn. Voor regionale afwijkingen in de physische constanten kan men de oplossing zoeken in het plaatselijk toepassen van ander materiaal. Ook de mogelijkheid een aequivalent te vinden voor het variëren van het doorstroomde oppervlak met de waterhoogte, door een materiaal te zoeken, waarvan het geleidingsvermogen sterk temperatuursafhankelijk is, kan overwogen worden.

Toepassingen voor een hier aangeduid model zal men in Nederland stellig voldoende vinden. Er kan hierbij b.v. gedacht worden aan het randgebied van de Zuiderzeepolders, aan diepe kanalen (zoals b.v. bij Houten), aan grote bouwputten (b.v. Velzen), aan kanalisatieplannen (zoals de Rijn), en aan de waterhuishouding in hogere gebieden, vooral als deze gebruik zouden gaan maken van artesische lagen.

LITERATUUR

1. WIJK, W. R. VAN en C. T. DE WIT. Grondwaterstand, waterafvoer en drukvereffening aan de Oostelijke Veluwerand. *Mededelingen Landbouwhogeschool*, Deel 50, verh. 5, blz. 75–81.

2. NETH. STATE INST. FOR WATER SUPPLY. The effect of the yearly fluctuations in rainfall on the flow of groundwater from an extended area of recharge. Procès Verb. des séances de l'Ass. Gén. d'Oslo (19–28 août 1948) de l'Union Géodésique et Géoph. Intern., blz. 47–56.

VII. ELECTRISCH ONDERZOEK VAN HET STROMINGSVELD VAN GRONDWATERSTROMEN [1]

C. G. J. VREEDENBURGH

Technische Hogeschool, Delft

Zoals bekend is bestaat er een analogie tussen de bewegingsvergelijkingen van een electrische stroom door een geleidende plaat en die van een vlakke grondwaterstroom.

Als geleidende plaat werd door ons gebruik gemaakt van een vloeistoflaag van een zeer verdunde keukenzoutoplossing (0,5 g per l).

De voor deze vloeistoflaag nodige ruimte wordt verkregen door uitholling (uitschaven) van een paraffinelaag, die zich bevindt in een grote houten bak met de volgende inwendige afmetingen in cm: 110 × 90 × 11.

Het gebruik van paraffine heeft het voordeel, dat eventuele dikte-(diepte-)variaties van de geleidende laag zeer nauwkeurig zijn te verkrijgen. Deze dieptevariaties zijn nl. nodig bij het onderzoek van aansluitende gebieden met verschillende permeabiliteit van de grond.

De begrenzingen voor de vloeistoflaag worden gewoonlijk gevormd door twee electroden, gelegd volgens twee potentiaallijnen van het te onderzoeken stromingsveld, terwijl de overige begrenzingen vallen langs stroomlijnen.

Parallel met het model is een meetgoot geschakeld, bestaande uit een langwerpige bak met constante rechthoekige doorsnede, waarin zich een keukenzoutoplossing bevindt van 10 g per l. Verder is de schakeling in hoofdzaak een brugschakeling van WHEATSTONE.

Gebruik wordt gemaakt van een wisselstroom, die ter plaatse wordt opgewekt met behulp van een draaistroommotor van 2 pk en een toerental van 2850 per minuut.

De motor drijft door middel van een riemoverbrenging een achtpolige wisselstroomdynamo van 450 Watt, welke dynamo normaal 4000 toeren kan maken. De riemschijven van beide machines hebben zodanige diameters, dat een wisselstroom van 500 perioden wordt verkregen, welke stroom ook de toon levert, waarvan de verdwijning door het stroomloos worden van de brug met behulp van een hoofdtelefoon wordt waargenomen.

Om geen hinder te hebben van het geluid van de motor en de generator zijn deze in een ander vertrek opgesteld. Door het opnemen van een variometer in de schakeling, alsmede van een bandfilter, bleek het mogelijk de toon in de telefoon tot algehele verdwijning te brengen, zodat de potentialen in verschillende punten van het model zeer nauwkeurig kunnen worden gemeten.

Voor verdere bijzonderheden betreffende de uitvoering van de metingen en de te nemen voorzorgen moge worden verwezen naar de nummers 1 en 2 van de literatuurlijst.

[1] De voordracht werd toegelicht door enige lichtbeelden.

Niet ontkend kan worden, dat de electrische oplossing van grondwaterproblemen geen eenvoudige zaak is. Zij komt daarom des te meer tot haar recht, naarmate men met gecompliceerder gevallen te doen heeft.

Zo zou men b.v. kunnen denken aan het geval van de stroming met phreatische waterspiegel door twee aansluitende (samenhangende) gebieden met verschillende anisotropie in de doorlaatbaarheid.

Voor de theorie van de grondwaterstroming door grond met homogeen-anisotrope permeabiliteit, kan worden verwezen naar nummer 3 en voor de analytische oplossing van het phreatisch randwaardeprobleem naar nummer 4 van de literatuurlijst. Hoe het bovenbedoelde gecompliceerde geval electrisch kan worden onderzocht is uiteengezet in nummer 5 van de literatuurlijst.

Hierbij werd voor de experimentele bepaling van de phreatische lijn gebruik gemaakt van een flexibele rubberplaat, nadat de anisotrope gebieden door een affine transformatie eerst waren omgezet in isotrope gebieden met verschillende aequivalente permeabiliteit.

Voor de electrische aansluiting van beide gebieden met verschillende vloeistofdiepte werd gebruik gemaakt van een z.g. cascade.

LITERATUUR

1. VREEDENBURGH, C. G. J. en O. STEVENS. Electrodynamisch onderzoek van potentiaalstromingen in vloeistoffen, in het bijzonder toegepast op vlakke grondwaterstromen. *De Ingenieur* No 32 (1933).

2. — Over grondwaterstromen en het onderzoek hunner stromingsbeelden met behulp der electrische methode. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No 6 (1936).

3. VREEDENBURGH, C. G. J. On the steady flow of water percolating through soils with homogeneous-anisotropic permeability. Proc. Int. Conf. Soil Mechanics and Found. Eng. 1936. Zie ook *De Ingenieur in Ned.-Indië* No 11 (1935).

4. — De hodografische afbeelding als hulpmiddel bij de oplossing van het phreatische randwaarde-probleem. *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No 1, 2 en 3 (1939).

5. BAX STEVENS, O. Electrical determination of the line of seepage and the flow net of a ground water flow, through joint regions with different anisotropy. *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No 9 (1938).

VIII. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

W. R. VAN WIJK

Landbouwhogeschool, Wageningen

Uit de verschillende lezingen blijkt, dat de meeste inleiders het model-onderzoek beschouwen als een aanvulling op de wiskundige behandeling van een stromingsgeval. Wanneer de berekening te tijdrovend of te ingewikkeld zou zijn om in korte tijd een resultaat te leveren, neemt men zijn toevlucht tot een modelproef. Anderzijds worden modelproeven toegepast om de constanten van de bodem of andere materialen, die men in wiskundige berekeningen gebruikt, te bepalen onder omstandigheden welke met de praktijk vergelijkbaar zijn. Alle inzenders zijn het er over eens, dat voor instructie en demonstratie modellen door hun aanschouwelijkheid zeer belangrijke diensten kunnen verlenen.

Dr HOOGHOUDT heeft practisch uitsluitend met de stationnaire stroming te maken en hij is van mening dat hierbij de berekening snel genoeg en zeker met grotere nauwkeurigheid dan met modelproeven is uit te voeren.

Prof. THIJSSE, die te doen heeft met in de tijd veranderlijke stromingen, maakt gebruik van modellen wegens de tijdsbesparing en de besparing in kosten, die hiermede t.o.v. de berekening wordt verkregen. De dikwijls zeer ingewikkelde randvoorwaarden (dijken, kribben enz.) maken de berekeningen uiterst tijdrovend.

Prof. GEUZE liet zien hoe modelproeven kunnen dienen voor het bepalen van materiaalconstanten, terwijl een stroming door en langs het materiaal plaats vindt. Zeer fraai was het om te zien hoe berekening en experiment samengaan en elkander aanvullen.

In de voordracht van Ir SANTING, die door Ir G. P. FELIUS werd gehouden, werden de spleetmodellen uitvoerig besproken en ook hierbij kwam duidelijk de bovenvermelde dubbele functie van het modelonderzoek te voorschijn. Bij de bestudering van stroming van zoet water over een zoutwaterlaag zijn het b.v. de randvoorwaarden, die de berekening moeilijk maken. Bij de stromingsvelden met grillige opbouw uit lagen van verschillende doorlatendheid dient het modelonderzoek uiteindelijk ter bepaling van de juiste gemiddelde waarde van de doorlatendheid.

Ook het warmtemodel, dat Ir KUIPERS besprak, wordt ontwikkeld, zowel om de invloed van wiskundig moeilijk te behandelen randvoorwaarden in vele variaties te kunnen bestuderen (bochtige rivieren, kanalen), alsook om na te gaan welke invloed grote variatie in de bodemstructuur op de waterbeweging over grote afstanden heeft en door de resultaten te vergelijken met praktijkwaarnemingen, a.h.w. de bodemconstanten te leren kennen.

De lezing van Prof. VREEDENBURGH ten slotte gaf een zeer fraai overzicht over de electrische vloeistofstromingsmodellen, welke ook voor zeer ingewikkelde stromingsverschijnselen, die in één, twee of drie dimensies plaats vinden, gebruikt kunnen

worden. Wel blijft de toepassing van de behandelde modellen beperkt tot de stroming, die niet met de tijd verandert.

In de discussie kwam eveneens duidelijk tot uiting, dat het bepalen van de constanten van de bodem, die de stroming beheersen, zo enigszins mogelijk door proeven moet geschieden, waarbij over inhomogeniteiten in de bodem (scheuren, gaten, weinig permeabele gedeelten e.d.) op de juiste wijze wordt gemiddeld. Conventioneel materiaalonderzoek in het laboratorium vertoont meestal zo grote spreidingen, dat het middelen over de uitkomsten grote onzekerheid aangaande de praktijkwaarde overlaat.

Negende Technische Bijeenkomst

op 12 December 1952

III. METINGEN EN VERBETERINGEN IN HET STROOMGEBIED VAN BEKEN

I. INLEIDING

F. VOLKER

Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage

In 1893 werd een Staatscommissie benoemd tot het instellen van een onderzoek omtrent bevloeiingen. Deze Commissie was ingesteld, mede naar aanleiding van een verzoek van de Geldersch-Overijsselsche Maatschappij van Landbouw aan de Regering, om na te laten gaan, hoe voor de bevloeiingen partij zou kunnen worden getrokken van de kleine rivieren.

Wel waren in ons land, reeds sinds enkele tientallen jaren tevoren, verschillende bevloeiingen aangelegd, waren ook min of meer grote plannen daarvoor opgemaakt en waren in verschillende beken metingen uitgevoerd; een onderzoek, dat alle hooggelegen gebieden van ons land omvatte, werd echter eerst door de genoemde Staatscommissie ter hand genomen. Daarbij werd het onderzoek ook grondig aangepakt.

Niet alleen werden onderzoekingen verricht naar de afvoeren van de voornaamste beken in ons land en naar het verloop van de waterstanden, maar ook werden gegevens verzameld over neerslag en verdamping en werden onderzoekingen gedaan naar de kwaliteit en samenstelling van het door de beken afgevoerde water en naar het doorlatingsvermogen van verschillende grondsoorten. Kortom een onderzoek, dat vrijwel het gehele gebied besloeg van hetgeen thans wordt betiteld met de naam Waterhuishouding.

Zelfs werd aandacht gewijd aan het bevorderen van een opleiding tot bevloeiingsopzichter en werd een wetsontwerp samengesteld om de aanleg van bevloeiingen langs wettelijke weg te vergemakkelijken.

Nadat de Commissie na verloop van ongeveer 3½ jaar haar rapport had uitgebracht, schijnt aan een groot deel van het door haar verrichte onderzoek niet verder te zijn gewerkt. Eerst bij het instellen van de Raad voor de Waterhuishouding in 1942 en het in verband daarmede oprichten van een dienst voor de Waterhuishouding bij de Directie van de Waterstaat en een afdeling voor de Waterhuishouding bij de directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat is onder meer het door de Staatscommissie van 1893 verrichte werk opnieuw ter hand genomen. Daarbij kon geen of vrijwel geen gebruik worden gemaakt van hetgeen tot nog toe was verricht, doch moest geheel opnieuw worden begonnen.

Allereerst waren namelijk in de verschillende stroomgebieden, zowel wat het gebruik van de gronden betreft, als de wijzigingen in de loop van de beken en de verder aangebrachte veranderingen, de toestanden grondig gewijzigd. Verder kon de techniek van het verzamelen der gegevens in de stroomgebieden zodanig worden verbeterd en worden ook aan de verbeteringen in de stroomgebieden zoveel hogere eisen gesteld, dat het onderzoek opnieuw moest worden opgezet.

Het valt hierbij op, dat ook de doelstelling belangrijk werd uitgebreid. De Commissie van 1893 richtte het oog alleen op de verbetering van die gronden in het stroomgebied, welke door bevloeiing zouden kunnen worden verbeterd, terwijl thans ge-

tracht wordt een inzicht te verkrijgen in de mogelijkheid om door een betere beheersing van de afvoer en van de grondwaterstanden zoveel mogelijk alle gronden in het stroomgebied te verbeteren.

Vóórdat tot een doelmatige verbetering van het stroomgebied van een beek kan worden overgegaan, moet allereerst een onderzoek worden ingesteld naar het verloop van de waterstanden en de afvoeren van de beek op enkele markante plaatsen en wel voornamelijk op die plaatsen, waar water wordt toegevoerd door zijbeken of afgevoerd door zijdelingse afleiding. Daarbij dient niet alleen een inzicht te worden verkregen in de hoogste en de laagste waterstanden en in de grootste en kleinste afvoeren, maar ook dient het gehele verloop van de waterstanden en de afvoeren in droge perioden en perioden met veel regenval te worden onderzocht.

Er zullen derhalve waterstandsgrafieken en afvoerkrommen dienen te worden samengesteld. Daartoe zal, over een zo groot mogelijke periode, het verloop van de waterstanden bekend moeten zijn en zullen een groot aantal afvoermetingen moeten worden verricht om het verband tussen waterstand en afvoer, de zogenaamde afvoerkromme, te kunnen construeren. Vooral het bepalen van de punten van de kromme, in geval van zeer grote afvoeren, vereist veel tijd, omdat deze afvoeren slechts zelden voorkomen en moeilijk op de juiste tijdstippen zijn te bepalen; veelal is de allergrootste afvoer al voorbij, vóór tot meting kan worden overgegaan.

Voor het meten van waterstanden en stroomsnelheden staan thans betere hulpmiddelen ter beschikking dan zestig jaar geleden. Het is dan ook met deze hulpmiddelen mogelijk om tot belangrijk nauwkeuriger en betrouwbaarder resultaten te komen dan toen de in de aanvang genoemde commissie haar werk verrichtte.

Ook naar het verband tussen neerslag en verdamping enerzijds, en afvoer en waterberging (zowel voor beide, bovengronds als ondergronds) anderzijds, zal een nader onderzoek in elk stroomgebied dienen te worden ingesteld. Tot nog toe zijn de regels, naar welke dit verband zich richt, nog niet gevonden. Dit wordt hierdoor veroorzaakt, dat wèl de neerslag, echter niet de verdamping op eenvoudige wijze kan worden bepaald, terwijl wèl de zichtbare afvoer, echter niet de ondergrondse afvoer, benevens voor beide gevallen de waterberging, gemakkelijk is vast te stellen.

Eerst door de onderzoekingen van de laatste tijd begint enig inzicht te ontstaan in het verband tussen de grootte van de verdamping in verschillende jaargetijden, de aard van de begroeiing en de samenstelling van de bovenste bodemlaag enerzijds en de zichtbare afvoer anderzijds. De proeven met lysimeters van verschillende grootte en samenstelling, alsmede het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder te Ten Boer (provincie Groningen), zullen bij voortgezet onderzoek in belangrijke mate tot de kennis van de verdamping bijdragen. Deze kennis zal nog door verdere onderzoekingen met andere bodemsamenstellingen moeten worden uitgebreid om in voldoende mate resultaten op te leveren.

Ook de grootte van de af- en aanvoer ondergronds, alsmede van de waterberging in de bodem, is, evenals die van de verdamping, afhankelijk van de samenstelling en doorlatendheid van de bovenste bodemlaag, maar bovendien van de samenstelling en doorlatendheid van de meer dieper gelegen lagen.

Voorts is bij de afvoer van de beken mede van invloed de helling van de terreinen in het stroomgebied, zowel wat grootte als richting betreft. Dit is één van de redenen, waarom hoogtekaarten van de terreinen in het stroomgebied beschikbaar dienen te zijn. Ook de gemiddelde hoogte van de grondwaterstanden en de wisselingen, welke deze grondwaterstanden ondergaan, dienen bekend te zijn.

Ten slotte dienen nog meer gedetailleerde kaarten, vooral langs de loop van de beek, op schaal 1 : 2500 en(of) op schaal 1 : 1000, ter beschikking te zijn, om daarop de nodig geachte verbeteringswerken te kunnen ontwerpen.

Uit de frequentie van de waterstanden en uit de afvoerkromme voor een bepaald stroomgebied of deel van een stroomgebied kan worden bepaald de grootste afvoercoëfficiënt, welke voor dit gebied zal kunnen optreden. Onder deze afvoercoëfficiënt, veelal aangeduid als dè afvoercoëfficiënt, wordt dan meestal verstaan de grootste afvoer en wel uitgedrukt in liters per seconde, per hectare van het beschouwde gebied. Behalve van de geaardheid, de wijze van ontwatering en van het meer of minder geaccidenteerd zijn van het terrein in het beschouwde stroomgebied is de afvoercoëfficiënt nog afhankelijk van twee factoren.

De eerste factor te dezen is de grootte van het stroomgebied en wel in die zin, dat over het algemeen hoe groter stroomgebied, hoe kleiner afvoercoëfficiënt.

De tweede factor is, dat de afvoercoëfficiënt afhangt van de frequentie, waarmede de afvoer of waterstand, welke bij de beschouwde afvoercoëfficiënt behoort, optreedt. Het is duidelijk, dat hoe kleiner de frequentie is, des te groter de afvoercoëfficiënt zal zijn.

Behalve de afvoercoëfficiënt bij abnormaal hoge afvoer is bij de verbetering van beken mede van belang de afvoercoëfficiënt bij meer normaal optredende afvoeren en de afvoercoëfficiënt bij de abnormaal optredende lage afvoer.

Bij kleine beken treedt het verschijnsel op, dat in tijden van droogte de beek in het geheel geen water meer afvoert. Volgens de (in de aanhef genoemde) Commissie voor de bevloeiingen zou dit verschijnsel zelfs bij beken met een stroomgebied tot ongeveer 16 000 ha het geval zijn. Het zal van belang zijn om na te gaan, in hoeverre zich dit verschijnsel bij de verschillende beken voordoet en waaraan dit zal moeten worden geweten. Vooral de wijze, waarop de ondergrondse afvoer plaats vindt, zal hierbij zeer waarschijnlijk een grote rol spelen.

Alvorens tot het wijzigen van de loop van de beken, het veranderen van het dwarsprofiel en van de hoogteligging van terreinen langs de beek wordt overgegaan, zal nauwgezet dienen te worden nagegaan, welke gevolgen al deze veranderingen zullen hebben in de optredende waterstanden en afvoeren.

Het aanbrengen van noodzakelijke of wenselijke verbetering in de afwatering van de terreinen in het stroomgebied en het daardoor versnellen van de toestroming naar de beek, alsmede het aanbrengen van noodzakelijk geachte verbetering in het afvoerend vermogen, kunnen nopen tot ingrijpende veranderingen in het régime van de beek. Toch zal daarbij dienen te worden overwogen, dat het opheffen van een kronkelende loop wel het afvoerend vermogen bij de grootste toevloed van water naar de beek vergroot, echter ook het water in korter tijd tot afstroming zal brengen.

De maximum afvoer wordt daardoor op tweeërlei wijze vergroot en wel ten eerste, doordat water gelijktijdig tot afstroming komt, hetwelk anders na elkaar zou komen en ten tweede, doordat minder water onderweg geborgen wordt.

Ook het ophogen van terreinen langs de beek tot boven de hoogste waterstand heeft een soortgelijk gevolg als het opheffen van een kronkelende loop.

Bovendien dient te worden overwogen, dat de bovengenoemde veranderingen bij de normale afvoeren en de kleinste afvoeren zonder verdere maatregelen, zoals het bouwen van stuwen, drempels of overstorten, een verlaging van de waterstanden tot gevolg hebben, hetgeen, evenals verruiming van het dwarsprofiel, van nadelige invloed kan zijn op de berging van water en grondwater in droge tijden en op de hoogte van de grondwaterstanden in het stroomgebied.

Dit alles maant tot voorzichtigheid bij het doorvoeren van ingrijpende veranderingen in het afvoerend vermogen van de beken. Zolang in dezen de huidige stand van de kennis omtrent de optredende verschijnselen nog onvoldoende is, is het over het algemeen aan te bevelen om zo min mogelijk in het bestaande régime in te grijpen en om de veranderingen geleidelijk aan te brengen, daarbij, tijdens de uitvoering, de bereikte resultaten zoveel mogelijk aan de berekende gevolgen toetsende.

II. METEN VAN WATERSTANDEN EN AFVOEREN IN KLEINE WATERLOPEN

P. J. WEMELSFELDER

Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage

1. Afbakening te behandelen terrein

Allereerst wordt een overzicht gegeven van de waarnemingsmiddelen, die ons heden ten dage ter beschikking staan om waterstanden en afvoeren te meten. Aan de hand daarvan is het mogelijk te zien, welke middelen meer speciaal in aanmerking komen voor kleine rivieren en beken.

Sommige daarvan worden uitvoeriger besproken. Naar volstrekte volledigheid heb ik niet gestreefd. Wat de genoemde prijzen betreft, men mag er niet te lichtvaardig uit concluderen, dat de ene methode of het ene merk zoveel goedkoper is dan het andere. De uitvoering en de bijkomende uitrustingsstukken moeten mede in aanmerking worden genomen. De genoemde prijzen dienen ook slechts om een algemene indruk te geven.

2. Vaste peilschalen

De algemeen bekende vaste peilschalen worden, b.v. éénmaal per dag, door een waarnemer afgelezen. De geëmailleerde schaal kost ongeveer f 8,— per meter. Gemonteerd op een tropisch houten achterplaat met verstelinrichting f 25,— per meter.

De Rijkswaterstaat is sinds enige jaren bezig met het geleidelijk invoeren van een genormaliseerd type vaste peilschaal. Het systeem bestaat hierin, dat met een beperkt aantal typen platen elk gewenst meetbereik kan worden samengesteld, ongeacht de ligging van de peilschaal t.o.v. N.A.P. Deze normaalplaten worden in voorraad gehouden. Het voordeel is de bruikbaarheid van in voorraad gehouden onderdelen over het gehele land, de gemakkelijke verstelbaarheid en de omwisselbaarheid van beschadigde delen.

3. Registrerende peilschalen

Het aflezen van de waterstand in een beek eenmaal op een dag op een vast tijdstip geeft niet altijd een voldoend gedetailleerd inzicht in het verloop der gebeurtenissen. Men kan dit verkrijgen door het toepassen van registrerende peilschalen. In Nederland was het tot heden niet gebruikelijk om beekwaterstanden te registreren. Dit typeert wel de weinige zorg, die tot voor kort werd besteed aan het verzamelen van systematische gegevens over de afvoer van beken. Naar het zich laat aanzien, zal hierin thans spoedig verandering komen.

Fig. 1 geeft een schema van de principes, welke voor het registreren van waterstanden worden toegepast. Wij beschikken thans over een 14-tal principes, waarvan

FIG. 1. Principes voor het registreren van waterstanden

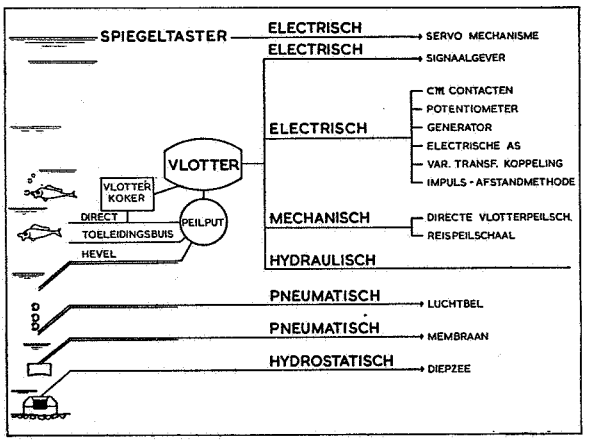


FIG. 1. *Principles for the recording of water levels*

FIG. 1. *Principes régissant l'enregistrement des niveaux d'eau*

er 10 aansluiten op een vlotter, terwijl 2 op luchtdruk, 1 direct op de druk van het water ter plaatse en 1 op de waterspiegel zelf reageren.

Voor alle normale gevallen geeft de directe vlotterpeilschaal de grootste bedrijfszekerheid tegen de laagste kosten.

Vermelding verdient een afzonderlijke groep vlotterpeilschalen, nl. de z.g. reispeilschalen. Dit zijn registrerende apparaten, die gemakkelijk te plaatsen en te verplaatsen zijn. Men neemt ze mee voor het registreren van een variabele waterstand gedurende een afvoermeting, bij peilingen e.d.

Is men genoodzaakt het registratietoestel op enige afstand van de vlotter te plaatsen, dan staat een aantal electrische overbrengingsmethoden ter beschikking, nl.:

1. Het overbrengen van cm-impulsen;
2. Het potentiometerprincipe;
3. De inductor-impulsen;
4. De electrische as (magslips);
5. De variabele transformator;
6. De impulsafstandmethode.

Er is ook nog een methode om de vlotterstand over enige afstand over te brengen langs hydraulische weg.

Voorts kan men waterstanden over zeer grote afstanden overbrengen met signalen, die telefonisch afgeluisterd kunnen worden.

4. FABRIKATEN REGISTRERENDE PEILSCHALEN

Fig. 2 geeft een 27-tal Europese peilschaalfabrikanten naar alphabetische volgorde. Sommige fabrikanten leveren slechts één enkel type in één of weinige uitvoeringsvormen. Anderen hebben een uitgebreid programma. In totaal zijn er wellicht 100 à 150 modellen.

De groep kolommen onder het hoofd „Meetobject" geeft het toepassingsgebied van deze fabrikaten weer, onderscheiden naar:

tanks en reservoirs;
waterstandbuizen;

kleine rivieren en beken;
grote rivieren;
getijgebied.

Uiteraard is geen scherpe onderscheiding aan te geven. De stippen geven dan ook slechts een accent. Men ziet, dat de meeste merkpeilschalen ook wel voor beken in aanmerking komen.

FIG. 2. Overzicht peilschaalfabrikaten, toepassingsmogelijkheden en prijzen

FABRIKAAT	MEETOBJECT					14 MEETWIJZEN													
						DIRECT — TOELEIDINGSBUIS — HEVEL										PNEUM.		
						VLOTTER												
							ELECTR.GEVER						MECHAN.					
	TANKS	WATERSTAND BUIZEN	KL. RIVIEREN	GR. RIVIEREN	GETIJGEBIED, ZEE	SIGNAALGEVERS	CM CONTACTEN	POTENTIOMETER	GENERATOR	ELECTR. AS	VAR. TRANSF.	IMPULS-AFST.METH.	DIR. VLOTTERAANDR.	REISPEILSCHAAL	HYDR. AANDRIJVING	WATERSPIEGEL TASTER	LUCHTBEL	MEMBRAAN	DIEPZEE
						AF TE LUIST.	ELECTRISCH REGISTRERENDE OP AFSTAND						DIRECT SCHRIJVEND			EL. DIR.			
ASKANIA		FOTO ●			●		3km			f 7500 30km									●
BÄR			●	●	●								f 1600 ●						
BOPP & REUTHER	●		●					f 1300 5km											
ELLIOT	●		●								f 2900 100km								
EVERSHED	●		●					f 1600 5km								●			
ERICSSON			●						f 2800 5km										
FUESS		●	●	●	●		5km						f 1800 2800						
FOXBORO			●														●	●	
GENT			●	●	●	∽	5km						●						
GFELLER				●		f 8700 ∽							●						
HAENNI	●		●										●						
HYDROTECHNICA			●	●									●						
HAGENUK				●								∽							
FRIČ (PRAAG)	●		●	●									●	f 700 ●					
KENT	●		●	●				5km					f 1700 ●						
KILLI		f 80 ●	●										f 500 ●	f 600 ●					
LÉGÉ				●	●								●						
OTT		f 100 ●	●	●	●		30km						f 900 1800	f 800 ●					
RITTMEIJER			●	●	●	∽	f 5600 30km						f 1900 ●						
(RIJKSWATERSTAAT)			●	●	●					2km			f 1400 ●			f 4700 ●			
SMITT (DE BILT)					●														f 1200
SIEMENS			●				30km												
PLESKOT (PRAAG)			●	●			5km						●						
DE VRIES					●														f 2000
LES VENNES (LUIK)	●		●	●									f 1800 ●					●	
LIQUIDOMETER	●		●												●				
RICHARD			●																

FIG. 2. *Survey of gauge manufacturers, possibilities of application and prices*

FIG. 2. *Aperçu sur les échelles d'eau manufacturées, ses applications et les prix*

In het rechterdeel van deze tabel zijn de 14 meetwijzen van fig. 1 aangegeven. Men ziet in deze tabel, welke fabrikanten bepaalde typen leveren.

Wat betreft de typen met registratie op afstand zijn de maximum afstanden in km vermeld. Deze zijn uiteraard niet scherp aan te geven.

Voorts zijn enige prijzen vermeld. Zij geven een orde van grootte weer. Het gaat daarbij niet alleen om verschillen in type, doch ook om aanmerkelijke verschillen in uitvoeringsvorm.

Men heeft een direct schrijvende vlotterpeilschaal, geschikt voor vaste opstelling in beken, voor f 1300,— à f 1800,—, met registratie op afstand voor f 3000,—.

Wil men vanuit kantoor een peilschaal opbellen om à l'instant de waterstand te vernemen, zonder tussenkomst van een waarnemer, dan kan men terecht bij Gent, bij Gfeller en bij Rittmeyer. De kosten liggen tussen de f 5000,— en f 10 000,—.

De Rijkswaterstaat heeft met succes afstandsoverbrenging toegepast met electrische-as-motortjes. Daarbij kan men normale registratie-inrichtingen gebruiken.

5. Enige bijzondere typen peilschalen

De Rijkswaterstaat maakt sinds enige jaren gebruik van de combinatie van een registrerende peilschaal en een registrerende regenmeter. De neerslag wordt opgevangen in een genormaliseerde vangtrechter van 4 dm^2 en gevoerd in een klein vat met een vlottertje, waarvan de beweging op hetzelfde blad wordt geschreven als de waterstand.

Fig. 3 geeft een diagram van deze peilschaal-regenmeter, opgenomen in de Lunterse Beek. Het verband tussen neerslag en beekafvoer komt sterk naar voren. Is het regenvlottertje 10 cm gestegen, dan slaat een kleine syphon aan. Deze hevelt het vlottervat in enkele seconden leeg.

In fig. 3 geschiedt dit vijfmaal.

Het aantrekkelijke van een dergelijke combinatie is, dat op elk registratieblad neerslag en waterstand voorkomen. Dit bespaart veel tijd bij het uitwerken en verschaft een direct toegankelijk overzicht, dat ook bij het vluchtig raadplegen reeds waarde heeft.

De nadelen van deze combinatie zijn:

1. Niet altijd is de voor de peilschaal uitgekozen plaats tevens de beste voor de regenmeter.
2. De hoge opstelling van de regenmeter en de invloed van de kast op de luchtstromingen kunnen oorzaak zijn van afwijkingen ten opzichte van de als standaard aangenomen opstellingen van regenmeters.

Gaat men over tot waterbeheersing, dan worden naast de waterstanden ook de standen der regelingsmiddelen van belang. Zo werden in de instrumentmakerij van de Rijkswaterstaat voor de Cultuurtechnische Dienst enige instrumenten gebouwd, die niet alleen een waterstand registreren, maar zowel bovenwaterstand als benedenwaterstand en de stand van de regelschuif.

FIG. 3. Diagram van de gecombineerde peilschaal-regenmeter, geplaatst in de Lunterse Beek nabij Renswoude, 16–28 Februari 1951

FIG. 3. *Diagram of the combined water level rain gauge, placed in the Lunteren brook near Renswoude, from 16th to 28th February 1951*

FIG. 3. *Diagramme de la combinaison: échelle d'eau - pluviomètre, placé dans le Ruisseau de Lunteren près de Renswoude en l'espace allant du 16 au 28 février 1951*

Voorts werd er in enige gevallen behoefte aan gevoeld om de overstorthoogte en daarmede het overstortkubiek, direct afleesbaar te maken. Dit is bij de betreffende instrumenten gerealiseerd door een wijzer mee te laten nemen door de snaar van de bovenvlotter en een wijzerplaat mee te laten nemen door de snaar van de schuif. Wijzer en wijzerplaat zijn aan de rechterflank van het apparaat achter een perspex-ruit zichtbaar en wel zo, dat de bedienende beambte er bij het op- en neerdraaien van de schuif het oog op heeft.

6. METEN VAN GRONDWATERSTANDEN

Om de waterstand in een betrekkelijk nauwe grondwaterstandsbuis van b.v. 5 cm diameter op betrekkelijk willekeurige diepte te kunnen meten, staan 9 middelen ter beschikking. Deze zijn:

1. Duimstok of andere verdeelde meetlat, tot 2 m diepte.
2. Meetband met een verdeelde ijzeren staaf.
3. Een verdeelde buis, bovenaan voorzien van een doorzichtige S-bocht, waarin water. Raakt de buis de waterspiegel, dan is dit zichtbaar aan het water in de S-bocht.

4. Meetband met klokje. Het raken van het klokje aan de waterspiegel geeft een klokkend geluid.
5. Meetband met fluitje. Onderaan bevindt zich een holle cylinder. Bereikt deze de waterspiegel, dan ontwijkt de lucht door het fluitje. Ott levert zulk een apparaat voor f 110,—.
6. Meetband met lampverklikker. Dat is een cylinder met staafbatterij. Een pingpongballetje sluit bij aanraken van de waterspiegel een contact, waardoor een lampje op de top van de cylinder gaat branden.

De genoemde zes meetmiddelen voert de waarnemer met zich mede. De volgende drie hebben een vaste opstelling op de buis.

7. Vlotter met bandaanwijzer. Dat is een band met cm-verdeling, die over een wiel boven de buis is geslagen. Een langwerpig contragewicht houdt de band strak. Over het geheel wordt een kapje geplaatst. Een dergelijk apparaat wordt door Killi geleverd.
8. Vlotter met registratietrommel. Wordt geleverd door Ott.
9. Vlotter met verdeelde band en fotografische registratie (naar Wilcke, wordt vervaardigd door Askania).

Volledigheidshalve is nog te vermelden de waterspanningsmeter van Philips, ontwikkeld door het Laboratorium voor Grondmechanica in samenwerking met de Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. Dit toestel kost met aanwijsinrichting en voeding ongeveer f 1800,—.

7. Afvoermetingen

In 1785 schreef de Hollandse Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem een prijsvraag uit van de volgende inhoud:

„Kan men de snelheid van stromende wateren op allerlei diepten, en dus ook de middelbare snelheid in iedere doorsnede, door enige theoretische regel, die door de ondervinding bevestigd is, bepalen? Of is zulks alleen mogelijk door directe proeven?

En welk is in dat geval het werktuig, hetgeen aan de minste gebreken onderhevig is en door voldoende proefnemingen gewettigd is, om in alle gevallen tot het vinden der verschillende snelheden gebruikt te worden?"

In het jaar 1786 werd ter beantwoording van deze vraag door Christiaan Brünings een verhandeling gepubliceerd „over de snelheid van stromend water en de middelen om deze op allerlei diepten te bepalen".

Hij onderwerpt daarin de volgende 5 middelen aan een critische beschouwing:

1. Drijvers, in die tijd stokdrijver van Barratieri geheten, tegenwoordig stokdrijver van Krayenhoff genoemd;
2. De druk op een plaat;
3. Een schoepenrad;
4. De Pitotbuis;
5. Een aan een zijden draad in de stroom gehangen bal.

FIG. 4. Principes voor het meten van afvoeren

Q=MEET TOTALE AFVOER
J=INTEGRATIE NODIG
P=MEET ENKEL PUNT OF STROOMBAAN.
R=CONTINUE REGISTRATIE MOGELUK.

				SNELHEDEN cm/sec	OPEN LEIDINGEN	GESLOTEN LEIDINGEN	KANALEN	BEKEN	RIVIEREN	ZEE	PRIJS f	VOORDELEN	NADELEN
VOLUMETRISCH	1	.VULLING VAT, KANAALPAND, SLUIS	Q			•						ZUIVER	TIJDROVEND.
	2	.ZOUTVERDUNNING	Q			•						UITKOMST VOOR ONTOEGANKELUKE WATERLOOP.	OMVANGRIJKE INSTALLATIE, TIJDROVEND.
		.RADIOACTIEVE STOF	Q					•				" " " "	" " "
VERVAL		.OVERLAAT, DRIEHOEKIG.	QR									EXACT, EENVOUDIG	KOSTBAAR. VERVALVERLIES, VASTE PLAATS.
	3	.OVERLAAT, BREDE KRUIN.	QR									" "	" " " "
		.OVERLAAT, SCHERPE KRUIN.	QR									" "	" " " "
	4	.VENTURIMETER	QR									" "	" " " "
SNELHEID	5	.ZOUTSNELHEID (ELECTRISCH)	J	3-300									ONNAUWKEURIG, OMSLACHTIG.
	6	.INDUCTIEMETER (THURLEMANN 1941)	J	HOOG	•								NIET VOOR BUITENWERK, MAGN. VELD.
	7	.DRIJVERS: OPPERVLAKTE	J	20-200								VOOR VLUCHTIGE ORIENTERING.	ONNAUWKEURIG.
		STOK	J	5-150	•	•	•	•				WEINIG SCHOLING VEREIST	OMSLACHTIG, TIJDROVEND.
		SLANG OTT	J	0.5-50								" " "	" "
		KETTING	J	5-150					•	•		" " "	" "
		FLES	J	0-200						•		VOOR STROOMBANEN	
	8	.MOLENTJE AMSLER-KILLI-OTT.	J	25-300	•				•	•	700-2300	STRAKKE REGELMATIGE METINGEN MOGELIJK.	NAUWK. AFH. VAN IJKING, OLIE, TEMP. PEILING.
		.PRICE-MOLENTJE WATT-GURLEY,	J	10-600	•			•	•	•	700-1300 / 300-3500	" " " "	" " " " " " "
		.ASKANIA ASKANIA.	P	25-500						•	1100	NAUWKEURIGE REGISTRATIE STROOMRICHTING.	ZEER DUUR.
		.CHERNIKEEFF.	P	50-800						•		BESCHERMD.	NIET VOOR KLEINE SNELHEDEN.
		.DRAAIEND LOG WALKER	P	100-500						•	300	EENVOUD, GOEDKOOP.	BEPERKT TOT VAREND SCHIP.
		.VERTIKAAL LOG.	P	15-150						•		VOOR LANGDURIGE PUNTMETINGEN.	ONNAUWKEURIG, SLECHTS OP EEN PUNT.
		.SCHAUFEL ASKANIA.	PR	20-200						•	12000	14 DAAGSE REGISTRATIE.	SLECHTS OP EEN PUNT OP DE BODEM.
	9	.PITOT ROSENMÜLLER	J	20-200	•						200	ZUIVER	ONOVERKOMENLUKE MOEILIJKH. VOOR AFLEZING.
		.BOURDON-PITOT "	J	10-300	•						300	ZUIVER	
		.BENTZEL	J	3-150	•							VERGROTE GEVOELIGHEID T.O.V. PITOT.	MOELIJK OP DE GEWENSTE PLAATS TE BRENGEN.
	10	.WOLLASTON-DRUKPLATEN (HUGHES)	PR	50-200						•		REGISTRATIE.	OMVANGRIJK.
		.KEGELSTROOMMETER (VAN VEEN)	PR	25-300						•		"	BEPERKT TOT ZEEBODEM.
		.UNSTERSTROOMMETER	PR	25-300						•		"	GEBONDEN AAN MEETPUNT.
		.WEERSTANDLOG	P	50-600					•	•		EENVOUD.	ALLEEN VOOR VAREND SCHIP.
	11	.JACOBSEN (LIBELSTROOMMETER)	P	20-150					•	•	1200	EENVOUDIG, SNELHEID VAN WERKEN.	TE BEPERKT MEETBEREIK, ONRUSTIG.
		.VLIEGERSTROOMMETER HANDAPP R.W.	J	7-200	•						1200	ZEER SNEL.	GEVOELIG VOOR VUIL.
		ZWEEFTOESTEL "	J	5-200	•	•		•			3400	NAUWKEURIG, SNEL, MIN. VOORBEREIDING.	" " "
		AFLEESKOEPEL "	J	5-600			•		•	•	1900	" " " "	" " "
		(PLANETARIUM)											
WATERSTAND	12	.PEILSCHAAL	QR					•	•		1400	CONTINUE REGISTRATIE.	BEPALING AFVOERKR. MOET VOORAFGAAN.

12 METHODEN — 33 MIDDELEN — VELE UITVOERINGSVORMEN

FIG. 4. *Principles for gauging discharge*

FIG. 4. *Principes régissant le mesurage de l'écoulement*

Tussen 1786 en 1952 liggen 166 jaren, een tijdperk, waarin op allerlei gebied de meettechniek geheel nieuwe wegen heeft gevonden en ook met groot succes in toepassing heeft gebracht.

Op het terrein van de hydrometrie is van een dergelijke ontwikkeling in het geheel geen sprake. Wel zijn de middelen aanmerkelijk verfijnd en geperfectionneerd, maar werkelijk nieuwe principes zijn bijna niet gelanceerd of tot practische toepassing gekomen.

In fig. 4 is een naar ik meen vrij volledige opsomming gegeven van alle technisch uitvoerbare meetmiddelen.

Ik heb ze gerangschikt naar vier hoofdgroepen, te weten:

1. Metingen, die betrekking hebben op het totale passerende *volume;*
2. Meting van een maatgevend te stellen *verval;*
3. Metingen van de *snelheid;*
4. Meting van een maatgevende *waterstand.*

Deze vier hoofdgroepen zijn verder onderverdeeld in 12 methoden. Gelet op de concrete vormgeving, kan men ten slotte 33 meetmiddelen onderscheiden. In fig. 4 zijn aan de rechterzijde zeer summier vóór- en nadelen geformuleerd.

Gaan wij nu na, welke van de hier weergegeven 33 middelen geschikt zijn voor afvoermetingen in beken en kleine rivieren, dan blijkt de oogst maar pover. Wij vinden: de drijvers, het vleugelmolentje, het Pricemolentje, de vliegerstroommeter en natuurlijk de peilschaal, doch deze vereist vooraf het bepalen van een afvoerkromme aan de hand van afvoermetingen volgens een der andere methoden. Onder deze neemt thans de vliegerstroommeter een vooraanstaande plaats in. Aangezien deze apparatuur nog eerst in beperkte kring bekendheid heeft verkregen, zal ik aan de beschrijving daarvan hier uitvoeriger aandacht schenken.

8. Beschrijving vliegerstroommeter met zweeftoestel

Het principe van deze meetmethode berust op het volgende. Een weerstandslichaam, opgehangen in de stroom aan een draad, ondervindt twee krachten, nl. vertikaal naar beneden de zwaartekracht en horizontaal de drukkracht van het water. De tangens van de hellingshoek van de ophangdraad is dus een directe maat voor de drukkracht van het water. Omdat de druk gebleken is steeds evenredig te zijn met v^2, geeft de tangens een directe maat voor de snelheid van het water ter plaatse van het weerstandslichaam.

Het principe is vermoedelijk al in oeroude tijden toegepast. Er zijn namelijk Egyptische tekeningen, waarop mensen in bootjes staan met een kwadrant in de hand in vertikale stand, juist alsof zij een vliegerstroommeter hanteren. Mogelijk zijn dit wateropzichters geweest, die toezicht hielden op de verdeling van het irrigatiewater.

Christiaan Brünings behandelt voorts het principe van deze meetwijze in zijn verhandeling van 1786. Een reeds jaren bestaande technische vorm is die van de libelstroommeter naar Jacobsen, doch deze apparatuur is alleen te gebruiken in grote en diepe stromen of op zee en vanaf een schip.

FIG. 5. Opstelling vliegerstroommeter met zweeftoestel

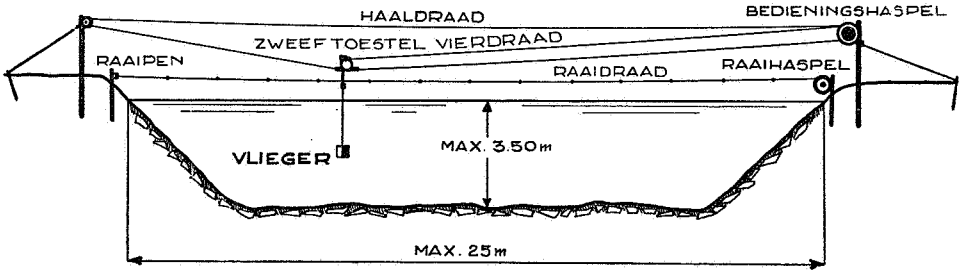


FIG. 5. *Placing pendulum current gauge with suspension apparatus*

FIG. 5. *Montage du pendule avec planeur*

Het gaat dus niet om een nieuw principe, doch wel om de technisch hanteerbare vormgeving voor een bepaald doel, in casu het meten van snelheden in kleine rivieren en beken.

De opstelling der complete meetapparatuur voor kleine rivieren is gegeven op fig. 5. Hij bestaat uit aan elke oever een opstelstaaf, waartussen een haaldraad is gespannen. Aan de haaldraad hangt het zweeftoestel en aan het zweeftoestel de vlieger. (Alle weerstandslichamen, van welke vorm ook, worden vlieger genoemd.) De vlieger kan men op en neer halen door middel van de vierdraad. Het gehele zweeftoestel kan men op elk punt van het dwarsprofiel brengen door het draaien van de haspels. De juiste plaats in de raai wordt afgelezen op een in meters verdeelde raaidraad.

Het zweeftoestel hangt steeds verticaal. Geen der 4 draden oefent een moment uit (zie fig. 6 en 7). De aflezing geschiedt op het horizontale been direct in tangenswaarden. De diepte wordt afgelezen aan het aantal omwentelingen van de wijzer. Eén slag is 20 cm draad. Een veer dient om lichte vliegers te helpen zakken.

Het toestel is in zijn huidige uitvoering geconstrueerd op het volgende bereik:

breedte 25 à 30 m;
diepte tot 3,50 m;
snelheidsbereik 7 cm/sec tot 900 cm/sec.

Voor het gebruik van dit toestel heeft men ter plaatse geen brug of boot nodig. Een helper begeeft zich zo nodig over een op afstand gelegen brug naar de andere oever voor het overbrengen van de draden. In totaal kost het opstellen 5 à 7 minuten. Voor opstellen en afbreken wordt op een kwartier gerekend.

Soms moeten, alvorens tot meten kan worden overgegaan, waterplanten worden verwijderd in een breedte van omstreeks één meter. Daarvoor wordt een stalen meshark gebruikt, die met een touw over de bodem heen en weer wordt gehaald. Hiermede worden de waterplanten afgesneden of losgetrokken.

Normaal worden de metingen door drie man uitgevoerd. In enkele gevallen kan men met twee man volstaan, vooral wanneer twee ploegen vlak bij elkaar werkzaam zijn, zoals bij splitsingspunten.

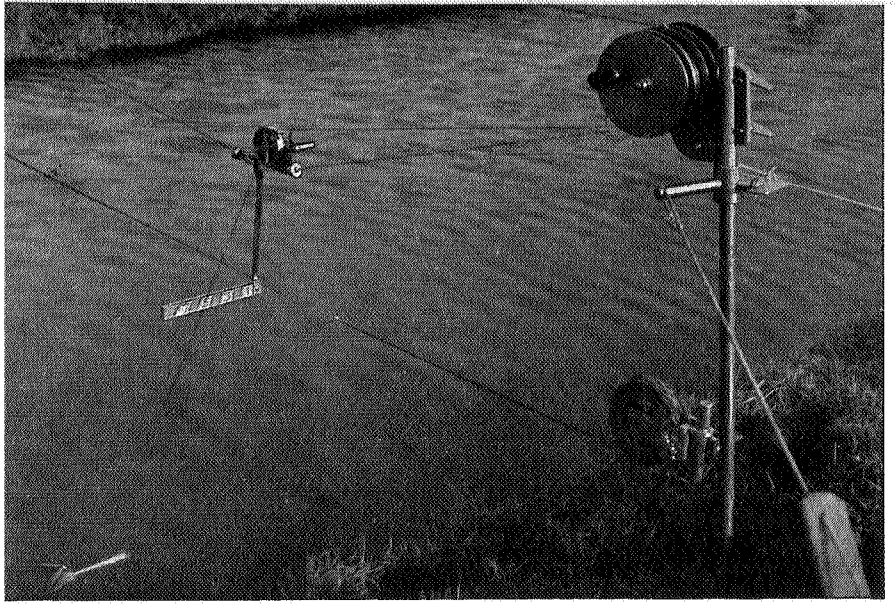


FIG. 6.
Het zweeftoestel boven een beek

FIG. 6.
The suspension apparatus over a brook

FIG. 6.
Le planeur au-dessus d'un ruisseau

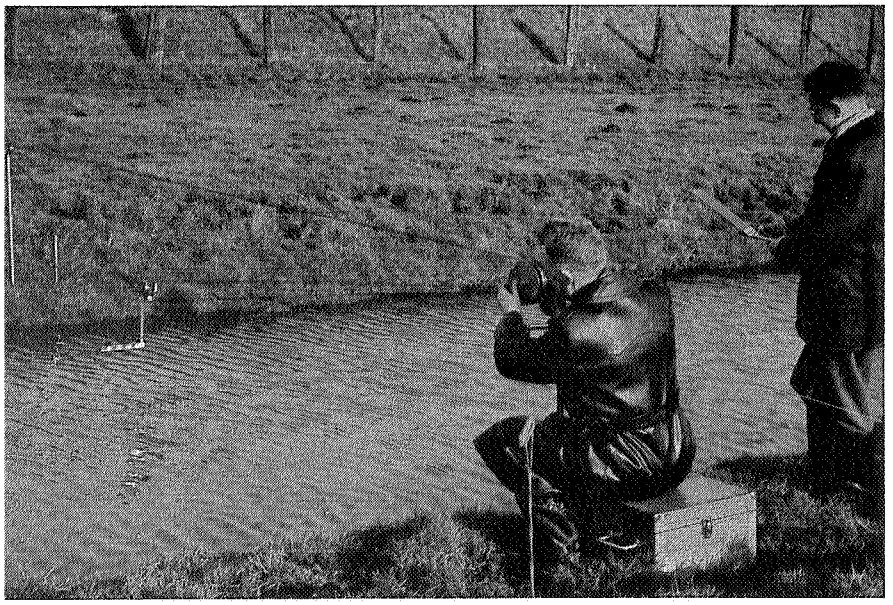


FIG. 7.
Het verrichten van een meting

FIG. 7.
Carrying out a measurement

FIG. 7.
L'effectuation d'un mesurage

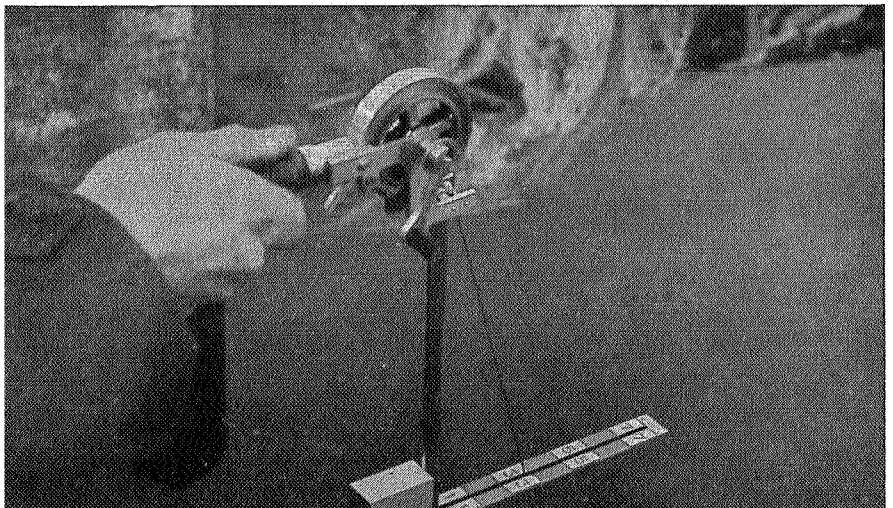


FIG. 8.
Vliegerstroommeter met handbediening

FIG. 8.
Pendulum current gauge operated by hand

FIG. 8.
Le pendule avec commande manuelle

In de hier besproken vorm is het instrument dus geconstrueerd voor gebruik in

kleine rivieren,
beken,
kleine kanalen,
molentochten,
poldersloten,
toeleidingskanalen van gemalen.

Deze apparatuur, met vliegers in duplo, ijkingstabellen en verpakt in 3 kisten, kost f 3400,—.

9. Bespreking van enige resultaten

Fig. 9 geeft de resultaten van een meting met deze apparatuur. Het betreft een meting in de Maas bij Eysden in 1949. Om de meter is een verticaal gemeten, beginnende aan de oppervlakte en dan telkens 20 cm lager. De totale breedte van de Maas tussen de grindbanken was in die droge tijd 64 m, de diepte 1,20 m.

Men ziet tot welke regelmatige snelheidsverticalen deze meetwijze leidt. De snelheden aan de oppervlakte zijn 1,00 m/sec groot. De totale afvoer is ruim 40 m³/sec.

Alvorens over te gaan tot een nadere critische beschouwing van de met deze apparatuur te bereiken nauwkeurigheid, meen ik goed te doen een tweetal varianten te behandelen, waarmede overeenkomstige metingen worden verricht en die voor het verkrijgen van het te behandelen vergelijkingsmateriaal nadere bijdragen hebben verschaft.

Fig. 9. Vliegerstroommeting met zweeftoestel in de Maas te Eysden op 23 September 1949

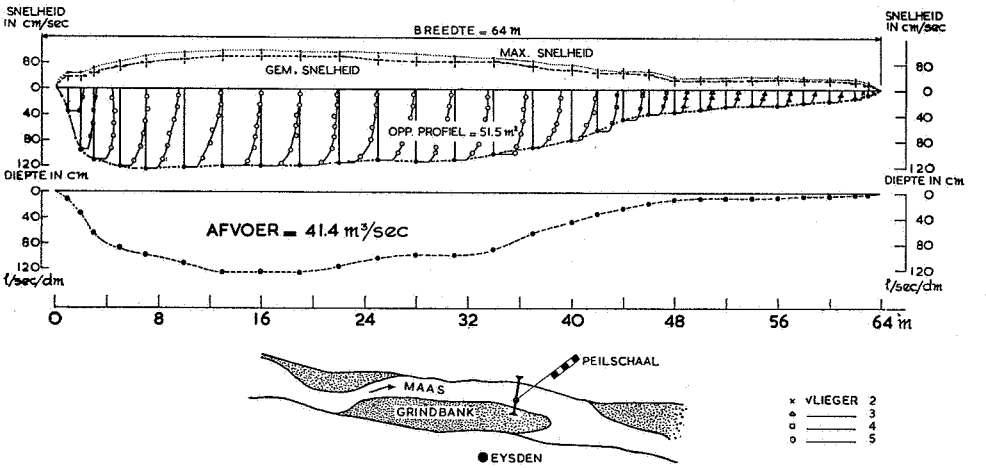


Fig. 9. *Pendulum current gauging with suspension apparatus in the Meuse at Eysden on 23rd September 1949*

Fig. 9. *Mesurage du courant au moyen d'un pendule avec planeur dans la Meuse à Eysden, le 23 septembre 1949*

10. De vliegerstroommeter voor handbediening

Onder omstandigheden, waarin men de inrichting voor het overspannen niet nodig heeft, kan men met voordeel gebruik maken van een eenvoudige uitvoering, nl. die voor handbediening (fig. 8). Een niveau dient ter contrôle op een juiste verticale stand. De draad wordt opgehaald en gevierd met een haspeltje. Voor het meten op een gewenste diepte schuift men een kurkje op de vliegerdraad op de gewenste lengte vanaf de vlieger.

Bij de vliegerstroommeter met handbediening behoort hetzelfde stel vliegers als bij het zweeftoestel. Het apparaat bewijst goede diensten in zeer kleine watergangen of wanneer men een snelle oriëntering wenst. De prijs van het apparaat, compleet in etui, plus vliegers en ijkingstabellen is f 1200,—. In gebruik is ook een eenvoudig type, dat met vliegers f 400,— kost.

11. De vliegerstroommeter met afleeskoepel

Is het water beduidend breder dan 25 m, dan kan men doorgaans van een boot gebruik maken. Daarvoor is speciaal geconstrueerd de afleeskoepel (fig. 10).

Fig. 10. Vliegerstroommeter met afleeskoepel

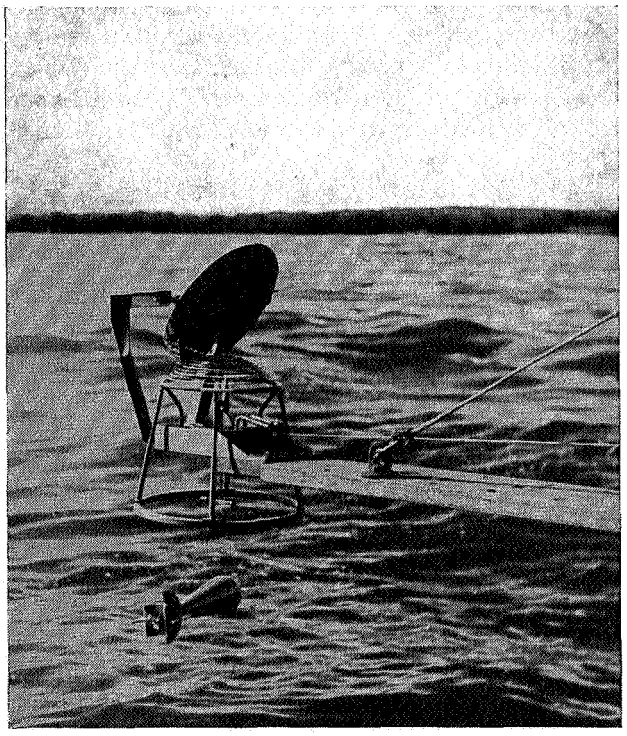


Fig. 10. *Pendulum with dome-shaped current gauge*

Fig. 10. *Le pendule avec coupole de lecture*

De vlieger wordt bij deze inrichting opgehangen aan een stalen vliegerdraad, die geleid wordt over een wiel en op een haspel wordt gewonden. De vliegerdraad kan wrijvingloos en zonder te knikken elke richting aannemen, die de stroom aan de vlieger geeft. De draad neemt een staart mede, waaraan een wijzer is bevestigd. De wijzer staat daardoor steeds parallel aan de vliegerdraad. De stand van de wijzer wordt afgelezen op de koepel. Elke ring is een tangenswaarde van een zeker aantal tienden. De waarden 1, 3, 5, 7 en 9 zijn blauw gelakt, de waarden 2, 4, 6, 8 en 10 zijn geel gelakt.

De koepel is cardanisch opgehangen en blijft in elke stand van de boot vertikaal. De draad gaat over een ge-

leidingswieltje op een zwanenhals, waarmede wordt voorkomen, dat de weggaande draad een moment zou uitoefenen op de wijzer. Voorts passeert de draad op zijn weg naar de haspel een telwerkje, waarop de gevierde draadlengte kan worden afgelezen.

De afleeskoepel, gemonteerd op een plank met liertje en teller, de nodige vliegers, alles in kisten verpakt, kost f 1900,—.

De Provinciale Waterstaat te Groningen gebruikt een uithouder van gelaste buizen. De uitslag van de draad wordt afgelezen op een cardanisch opgehangen segment. Het Waterloopkundig Laboratorium te Delft heeft nog weer een andere variant tot ontwikkeling gebracht.

12. De nauwkeurigheid van vliegerstroommetingen

Men dient onderscheid te maken tussen de principiële nauwkeurigheid van een meetmethode en de practisch op het terrein bereikbare nauwkeurigheid.

Wat de eerste betreft, de theoretische, moet ik hier volstaan met mede te delen, dat herhaalde ijkingen in de sleeptank te Wageningen hebben doen zien:

1. Dat de ijkingen stabiel en reproduceerbaar zijn;
2. Dat variaties, die optreden bij afwijkende standen van de vliegers, langs theoretische weg konden worden verklaard;
3. Dat de bijdrage van de draad tot de totale uitslag door ijkingen nauwkeurig kon worden vastgelegd en voor snelle berekening vatbaar is gebleken.

Contrôlemetingen, uitgevoerd onder gunstige omstandigheden, hebben dan ook een overeenstemming met correct uitgevoerde drijver- en molenmetingen opgeleverd van 100 %. Dat wil echter nog geenszins zeggen, dat men nu ook bij de gewone metingen op het veld tot goede resultaten komt.

Het gebeurt nogal eens, dat iemand, die voor het eerst getuige is van een meting volgens deze methode, het geloof daarin niet terstond kan opbrengen.

Wat dat betreft staan drijvers en molentjes er gunstiger voor. Want die verbergen de aan deze methoden inhaerente onnauwkeurigheden tot de tekenkamer.

De vliegermeetwijze echter demonstreert als geen andere het turbulente karakter van de stroming. De vlieger hangt geen ogenblik stil en de uitslagen variëren op één en hetzelfde meetpunt vaak 10, 20 en zelfs wel 30 % zo binnen een tijdsverloop van een paar minuten.

Dat de vlieger sterk en direct reageert op de aan de stroom inhaerente pulsaties, betekent in werkelijkheid natuurlijk geen tekort, maar veeleer een deugd. Het stromende water blijkt turbulenter te zijn, dan vrij algemeen wordt aangenomen. De vliegeruitslag is hiervan een directe aanwijzing en het behoort tot de kunst van de waarnemer om het goede cijfer te noteren. Uit tientallen contrôlemetingen is gebleken, dat door een normaal goede waarnemer deze vaardigheid vlug verworven wordt.

Als bewijs moge gelden fig. 11. Dit betreft een tiental afvoermetingen in de Flierbeek, dicht bij Barneveld uitgevoerd door personeel van collega Latour. Men ziet, dat deze tien punten ten opzichte van de daardoor getekende afvoerkromme een

FIG. 11. Afvoerkromme Flierbeek, gemeten door zes waarnemers A, B, C, D, E, F.

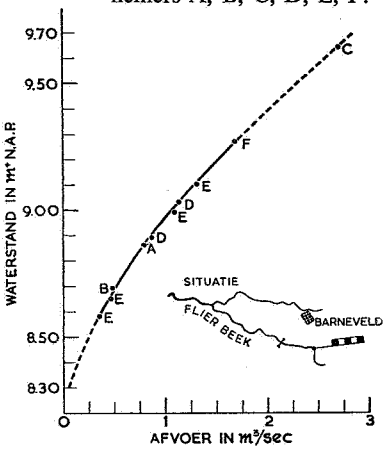


FIG. 11. *Flierbeek efflux curve, measured by six observers A, B, C, D, E, F.*

FIG. 11. *Courbe d'écoulement Flierbeek, mesurée par six observateurs A, B, C, D, E, F.*

buitengewoon kleine spreiding vertonen. Op zichzelf is dat reeds een gunstig teken. Doch het krijgt nog meer betekenis als men weet, dat deze 10 afvoermetingen werden verricht door 6 verschillende waarnemers. Men ziet, dat een persoonlijke factor hier volkomen afwezig is. Maar tevens houdt dit in, dat de meetmethode in zichzelf de waarborgen heeft om tot objectieve waarnemingen te geraken. Voor slecht weer is deze methode minder gevoelig dan hij zou kunnen schijnen. Belangrijk is al dadelijk, dat gedurende de gehele meting zowel waarnemer als schrijver op een kist of iets dergelijks kunnen blijven zitten, hetgeen bij hevige regen een beduidend voordeel is.

13. VERGELIJKING MET STOKDRIJVERS

Bij herhaling zijn gelijktijdige metingen verricht met stokdrijvers. Fig. 12 geeft het resultaat van zulk een proef. De open tekentjes geven de snelheden van de vliegerstroommeter en de

FIG. 12. Vergelijkende snelheidsmetingen met vliegers en drijvers in de Regge nabij Nijverdal op 14 December 1950

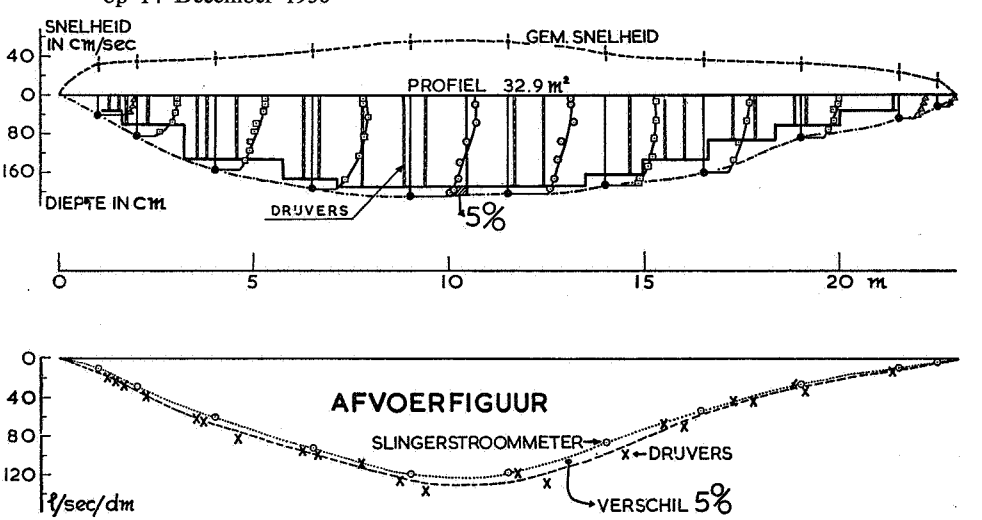


FIG. 12. *Comparative velocity measurements with pendulum and floats in the Regge near Nijverdal on 14th December 1950*

FIG. 12. *Mesurages comparatifs de vitesse au moyen de pendules et de flotteurs dans le Regge près de Nijverdal, le 14 décembre 1950*

daardoor getrokken snelheidsverticalen. Mooie regelmatige krommen. (Profiel B = 23 m, D = 2 m, F = 33 m².) De daaruit te becijferen afvoer per dm breedte is beneden uitgezet met een stippellijn.

De bloklijnen geven de drijvers aan. Zij waren met zorg zo lang mogelijk genomen. De lijn, die hun onderkanten verbindt, is als een trapjeslijn aangegeven. De uit de drijvingen berekende snelheden zijn in de onderste figuur uitgezet met kruisjes. Door de kruisjes is een bloklijn getekend.

Men ziet hieruit:

1. De drijvermetingen geven belangrijk meer spreiding dan de vliegerstroommetingen;
2. De drijvermetingen geven zoals bekend een uitkomst, die te hoog ligt, in dit geval 5 %.

Dat hier niet de vliegermeting 5 % te laag aanwees maar de drijvermeting 5 % te hoog, kan men uit de figuur zelf nagaan. Wat men nl. bij de drijvers te veel in rekening brengt, is het bij de middelste verticaal geharceerd aangegeven verschil nabij de bodem.

14. De betekenis van een juiste dieptepeiling in de beken

Bij de toepassing van deze meetwijze is ook een belangrijke foutenbron ontdekt, die vaak op moet treden bij molen- en drijvermetingen.

In beken zal men doorgaans met een stok de diepte peilen. Een enkele maal misschien met een lood of iets dergelijks. Aanvankelijk werd ook bij het meten met de vliegerstroommeter gepeild met een stok. Deze werd dan aan een lijn gebonden, die van oever tot oever in de hoogte werd gehouden. De stokpeilingen werden als juist aangemerkt.

Nu geeft de vliegermeting automatisch ook een peiling. Wanneer namelijk de vlieger de bodemraakt, tuimelt hij om en bovendien komt er meer ruimte in de vliegerdraad. De stroom neemt de draad mee en zet die bol om. Met geringe oefening kan men dit goed waarnemen. Door tevens te letten op de stand van de wijzer van het zweeftoestel kan men de gevierde draadlengte tot op 2 cm precies noteren. Brengt men de schuinte van de draad in rekening, dan kan men de hoogteligging van de bodem tot op 2 cm nauwkeurig in tekening brengen.

Aanvankelijk werd deze laatste methode min of meer verwaarloosd, mede, omdat de uitkomsten telkens weer aanzienlijk van de toen nog betrouwbaar geachte stokpeilingen afweken.

Op een keer echter werd gemeten in een heldere beek. (Heldere beken zijn in Nederland uitzonderingen.) Het was toen zichtbaar, dat de vlieger reeds bij de eerste aanraking op een dikke laag waterplanten omviel en dus door de waarnemer „bodem" werd genoteerd. De stokpeiling echter ging zonder enige weerstand door deze waterplanten heen en gaf dus een te grote diepte! Hetzelfde werd kort daarop ook ontdekt bij een bodem, bestaande uit een dikke laag zacht slib en bijna zwevende plantenresten.

FIG. 13. Vergelijking van dieptebepaling met peilstok en vliegers. Meting in de Regge nabij Demmersbrug op 29 September 1943.

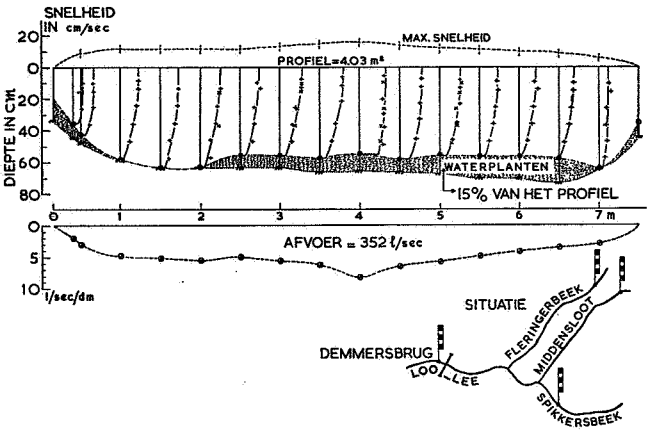


FIG. 13. *Comparison of gauging of depth with soundingstick and kites. Measurement in the Regge near Demmersbrug on 29th September 1943.*

FIG. 13. *Comparaison de détermination de profondeurs à l'aide de barre de sonde et de pendules. Mesurage effectué dans le Regge près de Demmersbrug, le 29 septembre 1943.*

Wij weten nu: de vliegerpeiling is gevoelig en betrouwbaar. Andere methoden van peiling geven, als de omstandigheden daartoe kunnen leiden, altijd een aanmerkelijk te grote diepte.

Fig. 13 geeft een voorbeeld uit de practijk, een afvoermeting met deze apparatuur uit het jaar 1943. Het geldt hier een meting in de Regge aan de Demmersbrug. De breedte is 7,50 m, de grootste diepte 70 cm. Met een stok peilde men hier een profiel, dat 15% te groot is. Onvermijdelijk betekent dit voor normale drijver- of molenmetingen een te grote afvoer van een 10 à 20%.

15. VERGELIJKING MET MOLENTJES OP DE NEDERRIJN TE ARNHEM

Op de Nederlandse beken variëren de snelheden als regel tussen de 0 à 10 cm/sec en ten hoogste 1,40 m/sec. De meest voorkomende snelheid is 40 cm/sec. Hieruit volgt, dat molentjes op de Nederlandse beken niet op hun voordeligst uitkomen. Daarom is tot vergelijkingsgebied gekozen de Nederrijn bij Arnhem, waar molentjes ten volle in hun element verkeren.

Voor deze vergelijkingsmetingen werd gebruik gemaakt van de grote vliegers en de afleeskoepel. Het resultaat is weergegeven in fig. 14. Op de bovenste figuur ziet men de vliegeruitkomsten en de molenuitkomsten. Zij zijn gelijktijdig en practisch op hetzelfde punt in de stroom gemeten. Men ziet hier en daar prachtige overeenstemming. Doch in andere verticalen wijken beide metingen wat meer van elkander af. De vraag rijst natuurlijk: falen hier de molenmetingen of falen de vliegermetingen? Of zijn misschien beide onderhevig aan storingen van toevallige aard?

Om hier een stap naar een gefundeerd oordeel te doen, zijn beide uitkomsten nader vergeleken met een zevende-graadsparabool, die voor practische doeleinden een goede benadering geeft. In de onderste figuur ziet men de vergelijking van deze zevende-graadsparabolen met de vliegermetingen. Naar men ziet, is voor de meeste vertikalen de overeenstemming prachtig. Dit pleit zowel voor het aanhouden van

FIG. 14. Vergelijkende snelheidsmetingen met vliegers (afleeskoepel) en molentje in de Rijn nabij Arnhem op 2 Mei 1952

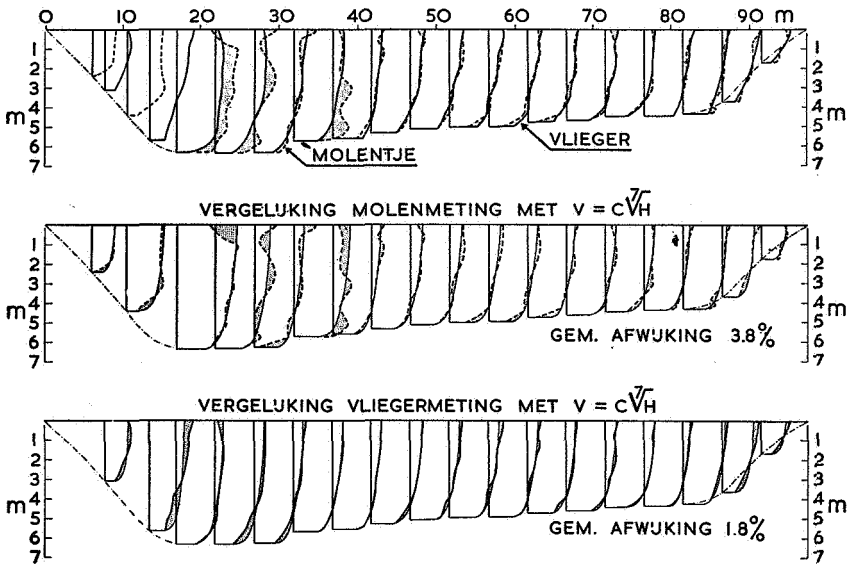


FIG. 14. *Comparative velocity measurements with dome-shaped pendulum gauge and mill in the Rhine near Arnhem on 2nd May 1952*

FIG. 14. *Mesurages comparatifs de vitesse avec des pendules (à coupole de lecture) et moulinet dans le Rhin près d'Arnhem, le 2 mai 1952*

deze parabool als voor de vliegermetingen. Deze laatste immers wijken ook in afzonderlijke punten nauwelijks af van de gestyleerde kromme. Natuurlijk zijn er ook wel enige uitvallers. De rivier is niet volkomen stabiel en passerende schepen geven incidentele storingen.

In de middelste figuur is hetzelfde gedaan voor de molenmetingen. Men ziet ook hier goede aanpassingen, wat er op wijst, dat het molentje in zijn eigen werkgebied principieel een goed instrument is. Doch daarnaast zijn de afwijkingen veelvuldiger en groter dan bij de vliegermetingen.

Op grond van deze vergelijking zou men geneigd zijn te concluderen, dat ook onder omstandigheden, die uitgesproken gunstig zijn voor het molentje en vrij ongunstig voor de vliegerstroommeter, de laatste metingen toch regelmatiger en nauwkeuriger geacht moeten worden dan de eerste. Een oorzaak daarvan kan zijn, dat men bij de vliegerstroommeter doorlopend ziet, wat er gebeurt. De waarnemer regelt zijn tempo enigszins naar de optredende pulsaties van langer duur. Vooral het passeren van schepen wordt goed opgemerkt en veroorzaakt daardoor geringer afwijkingen. De waarnemer werkt er vanzelf op aan om dergelijke storingen te elimineren.

Bij het molentje echter werkt men noodgedwongen iets meer mechanisch. Men let op de bel. Eerst bij het uitwerken blijken de onregelmatigheden. Deze toetsing valt dus uit in het voordeel van de vliegerstroommeter.

16. De nadelen van de methode

Ten slotte rest mij nog te wijzen op de nadelen, die aan deze meetmethode eigen zijn. Dat is, in de eerste plaats, de gevoeligheid voor drijvend en zwevend vuil. Komen strootjes, grasjes, stengels, e.d. tegen de draad, dan vergroten deze de weerstand en verhogen dus de aflezing. In het algemeen bemerkt men dit spoedig. Bovendien komt de draad na iedere verticaal boven water, zodat men voortdurend contrôle heeft. Men is echter gehouden om het vuil van de draad te verwijderen. Wanneer veel vuil komt afdrijven, kan dit tot hinderlijke vertraging leiden.

Een tweede kwetsbaar punt van de apparatuur is de draad. Deze is wel zo sterk, dat men hem met de hand niet stuk kan trekken, maar het gebeurt nog al eens, dat de vlieger ergens achter blijft haken. Af en toe worden dan ook vliegers verspeeld.

Sterke wind brengt soms het zweeftoestel in slingering. Het wordt daarna door de vliegerdraad, die als het ware in de stroom verankerd ligt, sterk afgeremd. Sterke wind is dan ook niet fataal voor de metingen. Wel geeft geschommel van het toestel aanleiding tot vertraging.

17. Samenvatting voordelen vliegerstroommetingen

Het besprokene ten aanzien van de vliegerstroommeter met zweeftoestel overziende, meen ik, dat wij daaraan de volgende voordelen en gunstige eigenschappen mogen toekennen:

1. De apparatuur laat zich snel opzetten en afbreken.
2. Vrijwel altijd kan gemeten worden zonder enige voorbereiding ter plaatse.
3. De metingen zelf verlopen sneller dan bij enige andere methode.
4. De metingen zijn bijzonder nauwkeurig.
5. Men kan een profiel zo gedetailleerd doormeten als men wenst.
6. De resultaten dragen bij goede uitvoering geen persoonlijke factor.
7. De automatische vliegerpeiling coupeert grove peilfouten, eigen aan het peilen met de peilstok.
8. Men is voor de keuze van de meetprofielen niet gebonden aan het kunnen beschikken over brug of boot.
9. De bediening vraagt geen bijzondere opleiding of scholing.
10. De apparatuur is weinig volumineus en gemakkelijk te transporteren.

Overzicht

Een overzicht wordt gegeven van de huidige waarnemingsmiddelen om waterstanden en afvoeren te meten.

§ 2. Besproken wordt een genormaliseerd type *vaste peilschaal*, bestaande uit een beperkt aantal typen platen, waarmee elk gewenst meetbereik kan worden samengesteld.

§ 3 en 4. Aan de hand van een uitvoerig schema wordt opgesomd volgens welke principes het mogelijk is *waterstanden te registreren*, ook op afstand. 27 Europese fabrieken vervaardigen registrerende peilschalen, tezamen 100 à 150 modellen.

§ 5. Voor- en nadelen worden besproken van de bij Rijkswaterstaat in gebruik zijnde combinatie registrerende peilschaal — registrerende regenmeter en een toestel, dat, geplaatst op een regelbare stuw, registreert: boven- en benedenwaterstand, stand van de schuif, overstorthoogte (= overstortkubiek).

§ 6. Genoemd worden de middelen, waarmee het mogelijk is *grondwaterstanden* in nauwe buizen te meten.

§ 7. Aan de hand van een uitvoerig schema wordt opgesomd volgens welke principes men stroomsnelheden kan meten. Voor de Nederlandse beken blijken alleen drijvers, het vleugelmolentje, het Price-molentje en de vliegerstroommeter in aanmerking te komen. Van deze is het meest geschikt de *vliegerstroommeter*, waarvan het principe is:

§ 8 en 9. Een weerstandslichaam (verder steeds vlieger genoemd), opgehangen in de stroom aan een draad, ondervindt twee krachten, nl. verticaal naar beneden de zwaartekracht en horizontaal de drukkracht van het water. De tangens van de hellingshoek van de ophangdraad is een directe maat voor de snelheid van het water ter plaatse van de vlieger. De tangenswaarde wordt op een schaal afgelezen.

§ 10. Is ter plaatse van de uit te voeren meting een brug, steiger of derg. aanwezig, dan worden de vliegers met de hand bediend. Is er geen brug en is de waterloop niet breder dan 25 m, dan hangt men de vlieger aan een zweeftoestel, dat vanaf de oever bediend kan worden. Het toestel wordt gespannen tussen de einden van een haaldraad, die van oever tot oever loopt.

§ 11. Voor bredere waterlopen, waar men meestal met een boot kan werken, kan men de vliegers ophangen aan een *afleeskoepel*.

§ 12, 13, 14 en 15. Contrôlemetingen hebben een overeenstemming opgeleverd met drijver- en molenmetingen van 100%. Deze contrôlemetingen worden uitvoerig besproken.

§ 16 en 17. Voordelen en nadelen van de vliegerstroommeter worden uitvoerig besproken.

III. DE AFVOER VAN DE KLEINE RIVIEREN IN NEDERLAND

J. H. M. LATOUR

Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage

1. Inleiding

Het onderzoek door de Rijkswaterstaat naar de grootte van de afvoeren van en de afvoerverhoudingen in de stroomgebieden van de kleine rivieren in Nederland nam een aanvang in het najaar van 1942. Voor degenen, die met deze taak belast werden in ook voor ons land zo ongunstige tijdsomstandigheden, was het moeilijk om terzake een activiteit van een enigszins betekenende omvang te ontwikkelen.

Een lijst van in onderzoek te nemen stroomgebieden werd opgesteld en in overleg met verschillende belanghebbende instanties werden urgentiecijfers toegekend. Het stroomgebied van de Regge (1942) kwam boven aan de lijst te staan, daarna volgden de stroomgebieden van de Dommel (1944), de Eem (1946) en de Aa (1947). In de overige stroomgebieden werd eerst in 1950 of later met het verzamelen van waterstands- en afvoergegevens begonnen. Thans zijn bijna alle stroomgebieden van enig belang in het Zuiden en het Oosten van Nederland bij het onderzoek ingeschakeld (fig. 1a en 1b, tabel 1).

Naast de vaststelling van de objecten, welke voor onderzoek in aanmerking kwamen, werd bepaald over welke voor het onderzoek noodzakelijke gegevens voor elk stroomgebied beschikt moest kunnen worden. Hier werd onderscheiden in gegevens over het stroomgebied als zodanig en over de in het stroomgebied opgetreden waterstanden en afvoeren.

2. Gegevens over het stroomgebied als zodanig

Aan de hand van de door de Rijkswaterstaat uitgegeven Waterstaatskaart — welke een patroon geeft van het stelsel van waterlopen en kunstwerken, waarlangs de aan- en afvoer van het oppervlaktewater plaats vinden en waarmede de aan- en afvoer van dit water geregeld worden — en met behulp van aanvullende al dan niet op

---

Fig. 1a. Stroomgebieden van kleine rivieren in het Noorden van Nederland. (De getallen verwijzen naar de tabel.)
---------- stroomgebiedsgrens
+ + + + + landsgrens

Fig. 1a. *Basins of small rivers in the North of the Netherlands. (The figures refer to the table.)*
---------- *boundary of the basins*
+ + + + + *frontier of the country*

Fig. 1a. *Bassins de petites rivières dans le nord des Pays-Bas. (Les indices se reportent au tableau.)*
---------- *limite du bassin*
+ + + + + *frontière nationale*

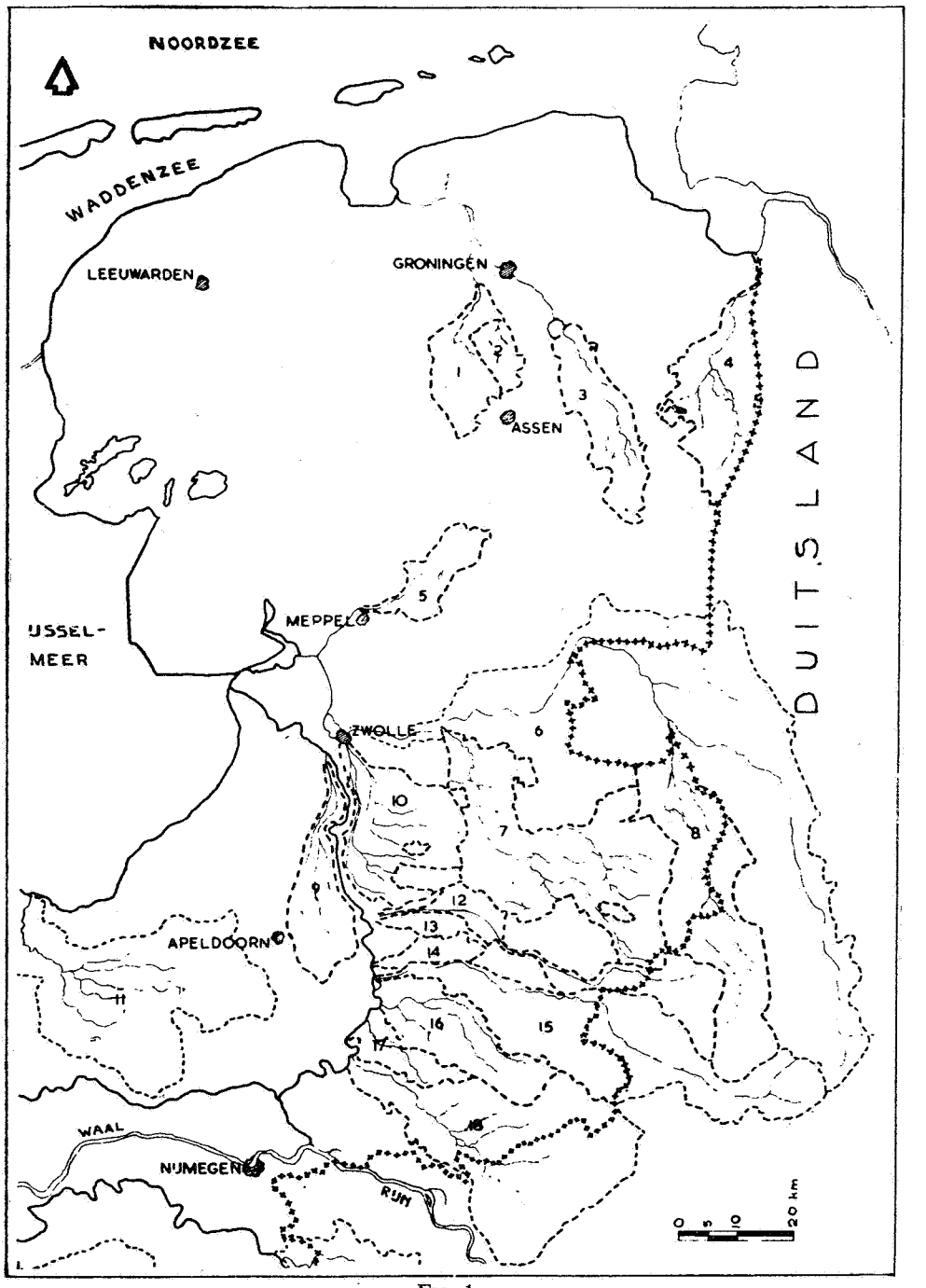

NOORDZEE
WADDENZEE
LEEUWARDEN
GRONINGEN
ASSEN
MEPPEL
IJSSEL-
MEER
ZWOLLE
APELDOORN
NIJMEGEN
WAAL
RIJN
DUITSLAND
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
0 5 10 20 km

FIG. 1a.

FIG. 1b. Stroomgebieden van kleine rivieren in het Zuiden van Nederland. (De getallen verwijzen naar de tabel).
---------- stroomgebiedsgrens
+++++ landsgrens

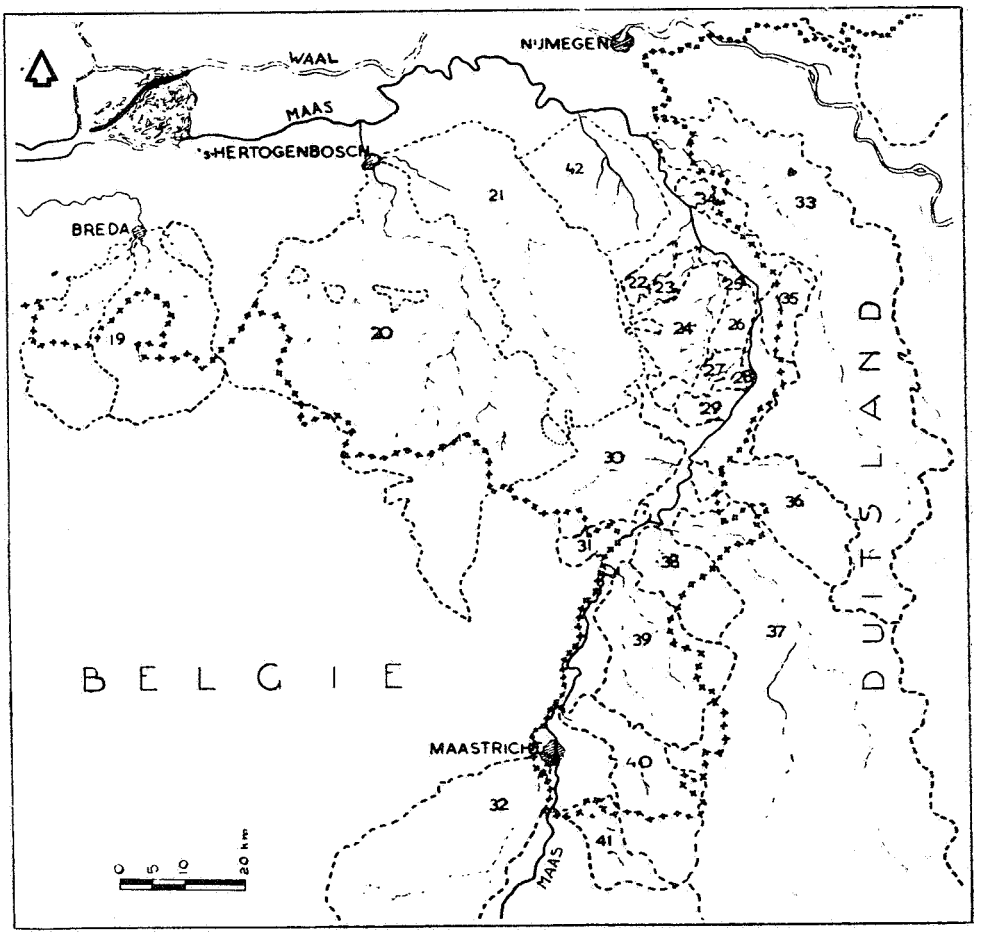


FIG. 1b. *Basins of small rivers in the South of the Netherlands. (The figures refer to the table).*
---------- *boundary of the basins*
+++++ *frontier of the country*

FIG. 1b. *Bassins de petites rivières dans le sud des Pays-Bas. (Les indices se reportent au tableau).*
---------- *limite du bassin*
+++++ *frontière nationale*

kaarten verwerkte gegevens van Provinciale Waterstaatsdiensten en van Waterschappen, werd een voor het beoogde doel zo volledig mogelijke kaart (schaal 1 : 50 000) van het stroomgebied samengesteld. Op deze voorlopige kaart werden een stelsel van meetpunten ten behoeve van de in de waterlopen uit te voeren en voor

de berekening van de afvoeren te bestemmen stroomsnelheidsmetingen en een stelsel van waarnemingsplaatsen voor het opnemen van de waterstanden ontworpen. Vervolgens werd het terrein verkend, waarbij aandacht werd besteed aan:

1. Het systeem, waarin de afvoerleidingen gegroepeerd waren en de aard van de belangrijk te achten leidingen;
2. De in het stroomgebied aanwezige kunstwerken, welke in meer of mindere mate een rol spelen met betrekking tot de wijze, waarop de afvoer van het water plaats vindt;
3. De waterscheidingen, zowel de natuurlijke — door de hoogteligging van het terrein bepaalde — waterscheidingen, als de kunstmatige, welke gevormd worden door spuisluizen, waarmede water van elders in het stroomgebied of water van het stroomgebied naar elders gevoerd wordt;
4. De terreingesteldheid, b.v. grondsoort, bodembedekking, inundatiegebieden;
5. De bruikbaarheid van het ontworpen stelsel van meetpunten en peilschalen.

De op het terrein verzamelde indrukken en gegevens werden door het aanbrengen van aanvullingen en wijzigingen in de kaart verwerkt.

Nauw contact werd onderhouden met de plaatselijke waterstaatsinstanties (zowel van de Rijkswaterstaat als van de Provinciale Waterstaat) en met — voorzover hier althans sprake van was — de technische diensten van de betrokken waterschappen. Uiteindelijk kwam een kaart gereed, welke de huidige waterstaatkundige toestand op juiste wijze weergeeft en waarop een meetplan is aangeduid, dat redelijke mogelijkheden biedt om op bevredigende wijze te worden uitgevoerd.

Afhankelijk van de grootte van het in onderzoek te nemen stroomgebied — enkele duizenden hectaren tot 100 000 ha of meer — varieert het aantal meetpunten en peilschalen per gebied van 1 tot enkele tientallen (voor deze aantallen zie de tabel). De ligging der meetpunten werd zodanig gekozen, dat deze de gelegenheid biedt bij alle voorkomende waterstanden stroomsnelheidsmetingen uit te voeren. De peilschalen werden zoveel mogelijk opgesteld bij of nabij de meetplaatsen, indien althans omtrent de aldaar optredende waterstanden mag worden verwacht, dat zij een juist beeld zullen geven van het onder de invloed van de natuurlijke omstandigheden optredende afvoerproces. Op deze wijze immers zal het mogelijk zijn aan de hand van de resultaten van een serie bij sterk uiteenlopende waterstanden verrichte stroomsnelheidsmetingen en na de bewerking hiervan tot afvoergegevens, met inachtneming van de tijdens de metingen opgetreden waterstanden, een grafisch verband (afvoerkromme) tussen afvoer en waterstand op te stellen. In vele gevallen werd de peilschaal niet nabij het meetpunt geplaatst, hetzij dat ten gevolge van de aanwezigheid van ter regulering van de beekafvoeren gebouwde kunstwerken (stuwen) het kunstmatig geregelde waterstandsverloop de mogelijkheid wegnam om door middel van een enkelvoudige afvoerkromme een duidelijk beeld te geven van het natuurlijke afvoerproces, hetzij dat het practisch onmogelijk was — in verband met het in wijde omtrek onbewoonbaar zijn van het om de meetplaats gelegen gebied — de waterstand dagelijks op de peilschaal te doen aflezen.

Herhaaldelijk is voorts gebleken, dat de aanwezigheid van de landsgrenzen belemmerend werkt op een goede gang van zaken. Van vele stroomgebieden ligt een meer of minder groot deel hetzij in Duitsland, hetzij in België. Gebleken is, dat ook

TABEL 1. Namen enz. van de stroomgebieden, welke voorkomen in de figuren 1a en 1b

No.	Benaming	Aanvang onderzoek	Aantal		
			meet-punten	peil-schalen	uitgevoerde afvoermetingen t/m 1952
1	Peizerdiep	Febr. 1951	8	7	68
2	Eelderdiep	April 1951	4	3	38
3	Oostermoersche Vaart	1953—1954	—	—	—
4	Westerwoldsche Aa	1953—1954	—	—	—
5	Wold Aa	Febr. 1951	7	9	27
6	Overijsselsche Vecht (excl. 7 en 8)	Sept. 1951	6	10	11
7	Regge	Oct. 1942	14	14	220
8	Dinkel	Mei 1950	7	8	118
9	Groote Wetering	1953—1954	—	—	—
10	Sallandse weteringen	Dec. 1950	8	8	72
11	Eem	Nov. 1946	14	37	167
12	Schipbeek	Maart 1950	4	7	30
13	Dortherbeek	Febr. 1950	1	1	8
14	Eefdesche Beek	Febr. 1950	1	1	10
15	Berkel (zie fig. 2b)	Maart 1950	9	13	95
16	Baaksche Beek	Febr. 1950	3	3	32
17	Groote Beek	Maart 1950	1	1	8
18	Oude IJssel	Jan. 1952	10	10	16
19	Hoge gronden boven Breda	Jan. 1951	19	15	110
20	Dommel (zie fig. 2a)	Juni 1944	31	31	479
21	Aa	Sept. 1947	27	24	232
22	Loobeek	Sept. 1952	11	1	—
23	Oostrumsche Beek	Sept. 1952	1	1	—
24	Groote Molenbeek	Sept. 1952	5	4	9
25	Broekhuizerbeek	Sept. 1952	1	1	1
26	Gekkengraaf	Sept. 1952	1	1	—
27	Everlosche Beek	Sept. 1952	2	2	4
28	Springbeek	Sept. 1952	1	1	2
29	Kwistbeek	Sept. 1952	1	1	2
30	Neerbeek	Sept. 1952	9	9	17
31	Thornderbeek	Sept. 1952	1	1	3
32	Jeker	1952—1953	1	1	—
33	Niers	Oct. 1950	2	5	23
34	Afferdsche Beek	1952—1953	1	1	—
35	Lingsforterbeek	1952—1953	1	1	—
36	Swalm	1952—1953	1	1	—
37	Roer	1952—1953	1	1	—
38	Vlootbeek	1952—1953	4	3	—
39	Geleen	1952—1953	8	8	—
40	Geul	1952—1953	7	6	—
41	Voer	1952—1953	1	1	—
42	Graafsche Raam	1953—1954	—	—	—

TABLE 1. *Names etc. of the basins shown in figures 1a and 1b*

TABLEAU 1. *Noms etc. des bassins figurant dans les figures 1a et 1b*

in Duitsland reeds veel aandacht besteed wordt aan de afvoeren c.a. in stroomgebieden, waarvan het benedendeel binnen onze landsgrenzen gelegen is. Gepoogd wordt — en ten dele reeds met succes — om uitwisseling van gegevens te verkrijgen. In België valt terzake weinig of geen activiteit te bespeuren. Met betrekking tot de bovenloop van de Mark is bereikt, dat door de Rijkswaterstaat — mits tijdig tevoren bericht daarvan gegeven wordt — op Belgisch grondgebied afvoermetingen verricht mogen worden. Bovendien is nabij het desbetreffende in België gelegen meetpunt een Nederlandse Rijkspeilschaal, welke dagelijks door een Belgische waarnemer wordt afgelezen, opgericht.

Afhankelijk van de aard en de grootte van de stroomgebieden kwamen afvoermeetplannen van sterk uiteenlopend karakter tot stand. De figuren 2a en 2b geven hiervan een duidelijk, doch om practische redenen enigszins vereenvoudigd, beeld.

FIG. 2a. Het stroomgebied van de Dommel

○ = meetpunt ▮ = peilschaal

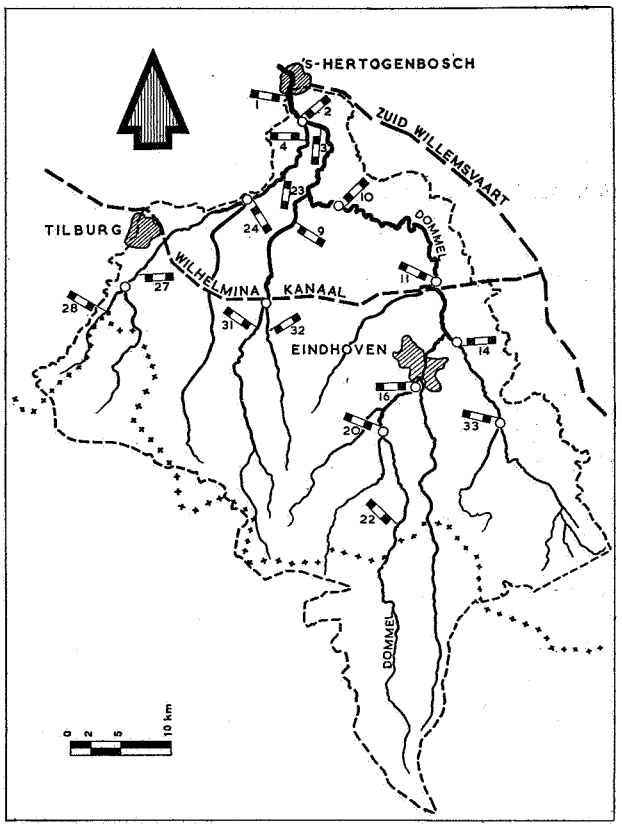


FIG. 2a. *The basin of the Dommel*
○ = *discharge measuring point;*
▮ = *waterlevel gauge*

FIG. 2a. *Le bassin du Dommel*
○ = *point de mesure de l'écoulement*
▮ = *échelle d'eau*

3. GEGEVENS OVER DE IN HET STROOMGEBIED OPGETREDEN WATERSTANDEN

Voor vele stroomgebieden bleken waterstandsgegevens geheel te ontbreken. Hiernaast waren er gevallen, waarbij op enkele of vele punten in een stroomgebied door in uiteenlopende mate onder contrôle staande waterwaarnemers dagelijks waargenomen waterhoogten in tabellen werden opgeschreven. Meestentijds verdwenen deze tabellenreeksen

FIG. 2b. Het stroomgebied van de Berkel

○ = meetpunt ▮ = peilschaal

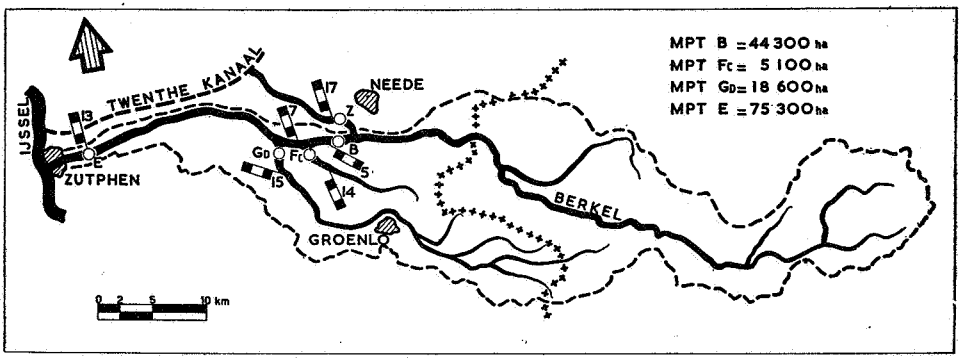


FIG. 2b. *The basin of the Berkel*

○ = *discharge measuring point* ▮ = *waterlevel gauge*

FIG. 2b. *Le bassin du Berkel*

○ = *point de mesure de l'écoulement* ▮ = *échelle d'eau*

practisch ongebruikt in de verschillende archieven. Het bleek derhalve noodzakelijk met bekwame spoed op grote schaal waterstandsgegevens te gaan verzamelen en wel als minimum programma ten minste eenmaal-daagse waterstanden op belangrijke punten in elk stroomgebied en dit zonder onderbreking gedurende een tijdvak van ten minste 10 jaren.

Aan de waterwaarnemers wordt een vergoeding toegekend. De grootte hiervan varieert met het groter worden van de afstand tussen de woning van de waterwaarnemer en de plaats van waarneming, het aantal waarnemingen, het aantal peilschalen en het type van de peilschalen. De vergoeding wordt per kwartaal door personeel van de afdeling Waterhuishouding van de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat bij de waarnemer thuis uitgekeerd tegen ontvangst van een door de waarnemer getekende kwitantie. Dit contact tussen waarnemer en opdrachtgever wordt van groot belang geacht met betrekking tot de kwaliteit (d.w.z. volledigheid van de reeks en betrouwbaarheid der waarnemingen) van het te verzamelen waarnemingsmateriaal.

4. GEGEVENS OVER DE IN HET STROOMGEBIED OPGETREDEN AFVOEREN

Slechts sporadisch waren afvoergegevens ter beschikking. Gewezen kan worden op de metingen, uitgevoerd aan het einde van de vorige eeuw ten behoeve van de Staatscommissie voor Bevloeiingen, en op incidenteel daarna door Waterstaatsdiensten, waterschappen of ingenieursbureaux uitgevoerde metingen, waarvan de resultaten veelal diep verscholen in de onderscheidene dossiers zijn opgeborgen.

Hierbij mag ook weer niet over het hoofd worden gezien, dat deze meetresultaten een meer historische dan practische waarde verkrijgen naarmate het tijdstip, waarop de metingen zijn uitgevoerd, verder in het verleden ligt en naarmate het meetobject ten gevolge van de uitvoering van meer of minder diep ingrijpende verbeteringswerken in onbekende doch veelal betekenende mate van karakter veranderd is. Zonder meer moest worden vastgesteld, dat een archief van afvoergegevens van de grond af diende opgebouwd te worden.

De opdracht, aan de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat verstrekt, was van een voor deze Overheidsdienst zo volkomen nieuw karakter, dat elk hulpmiddel voor het verrichten van stroomsnelheidsmetingen ontbrak. Dit betekende, dat bovendien ook de benodigde meetapparatuur moest worden verzameld. Voor hetgeen terzake door Ir WEMELSFELDER bereikt is, kan worden verwezen naar de tekst van diens voordracht.

In 1942 werd met bescheiden meethulpmiddelen een aanvang met de werkzaamheden gemaakt, onder gebruikmaking van de trein en de fiets als vervoermiddelen. Van het voorjaar van 1944 tot de zomer van 1945 kwam het werk stil te liggen. Thans is het mogelijk op bescheiden schaal geregeld gedurende het gehele jaar metingen te doen uitvoeren. Er zijn echter nog weinig meetapparaten ter beschikking en bovendien is eveneens de personeelsformatie niet van een zodanige omvang dat in tijden, waarin extreem hoge afvoeren optreden, op bevredigende schaal in het gehele complex van stroomgebieden metingen kunnen worden uitgevoerd.

Daar deze zeer hoge afvoeren weinig frequent voorkomen, zal het ongetwijfeld lange tijd duren, alvorens voor alle stroomgebieden een redelijk nauwkeurig, op meetresultaten gebaseerd, inzicht in de grootte van de zeer hoge afvoeren zal zijn verkregen.

Ten behoeve van het vervoer van het met de metingen belaste personeel en van het door hen te gebruiken meetmateriaal wordt thans beschikt over twee auto's.

Voor elk stroomgebied worden van tijd tot tijd gedurende het jaar meetreizen gemaakt. Naarmate het aantal gegevens groeit, wordt meer aandacht besteed aan het tijdstip van dergelijke reizen, ten einde spoedig te bereiken, dat afvoergegevens, behorende bij zoveel mogelijk uiteenlopende waterstanden, ter beschikking komen. Daar de metingen bij hoge en zeer hoge waterstanden zeer belangrijk zijn, is een systeem van telefonische hoogwaterberichtgeving ten dele reeds in werking en overigens in opbouw. De duur van elke meetreis varieert in het algemeen van 1 tot 4 dagen, afhankelijk van de ligging en van de omvang van het gebied.

5. MEETRESULTATEN

De figuren 3a, b en c geven een overzicht van enkele meetresultaten:

1. Het stroomgebied van de *Beerze* (16 350 ha; onderdeel van het stroomgebied van de Dommel; zie fig. 1b en 2a), gelegen ten zuidzuidwesten van Oirschot en ten zuiden van het Wilhelminakanaal, is samengesteld uit 5450 ha voor de Kleine Beerze en 10 900 ha voor de Groote Beerze (fig. 3a).

FIG. 3a. Afvoerkrommen van de Beerze (onderdeel van het stroomgebied van de Dommel, zie fig. 1b en 2a)

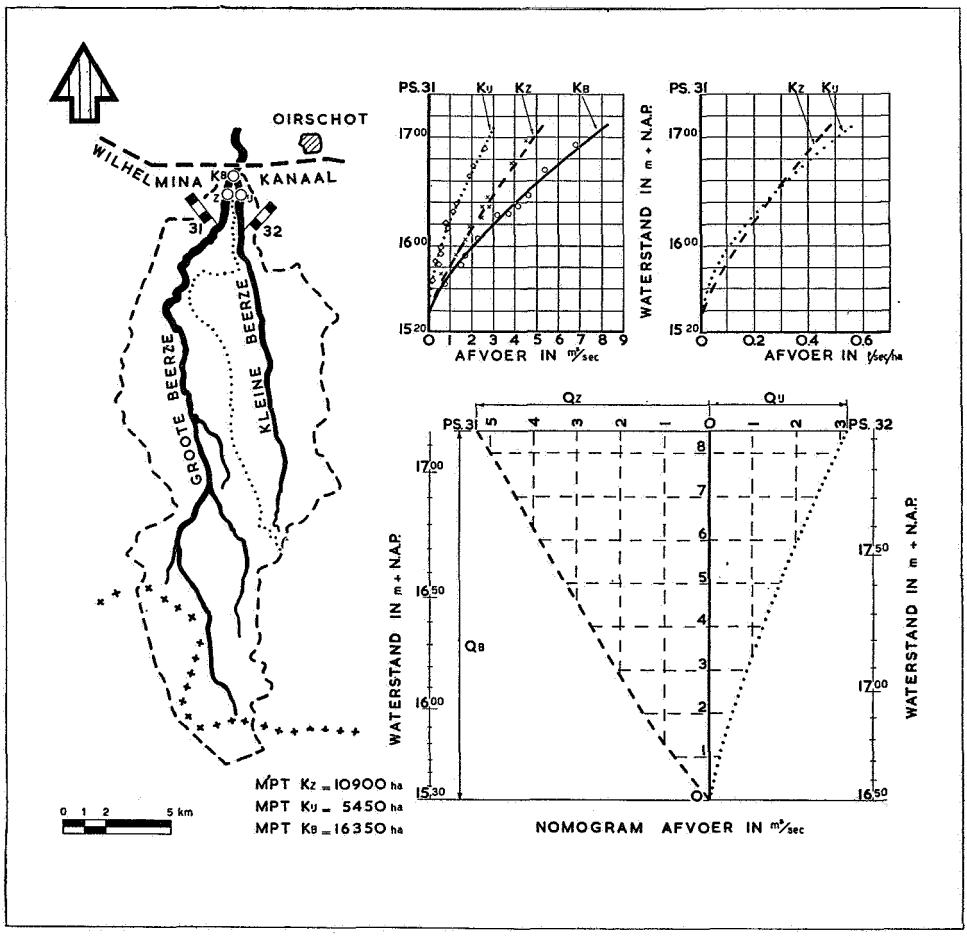


FIG. 3a. *Discharge-curves of the Beerze (part of the Dommel basin, see fig. 1b and 2a)*

FIG. 3a. *Courbes d'écoulement du Beerze (partie intégrante du bassin du Dommel, voir les figures 1b et 2a)*

Bij de samenvloeiing van de Groote en de Kleine Beerze zijn 3 meetpunten gegroepeerd en wel één in elk der boventakken en één direct beneden het punt van samenvloeiing. Sedert November 1945 zijn aldaar geregeld stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd. In elk der boventakken is een peilschaal (resp. genummerd 31 en 32) aanwezig, welke reeds sedert resp. Juni 1944 en Februari 1946 dagelijks worden waargenomen.
Voor elk der boventakken is een afvoerkromme opgesteld. Daarnaast is de totale gemeten afvoer uitgezet zowel tegen de waterstand bij peilschaal 31 als tegen die bij peilschaal 32.
Op grond van de gelijktijdig aan de beide peilschalen optredende waterstanden is

FIG. 3b. Het stroomgebied van de Barneveldsche Beek (onderdeel van het stroomgebied van de Eem, zie fig. 1a)

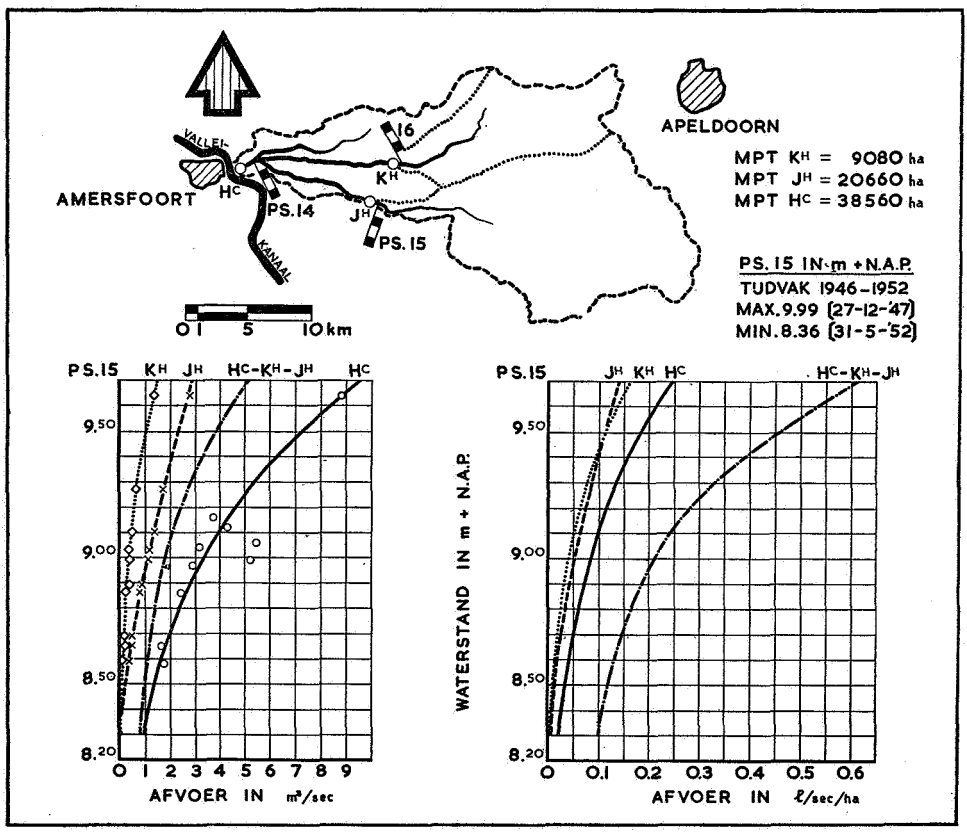


FIG. 3b. *The basin of Barneveld brook (part of the basin of the Eem, see fig. 1a)*

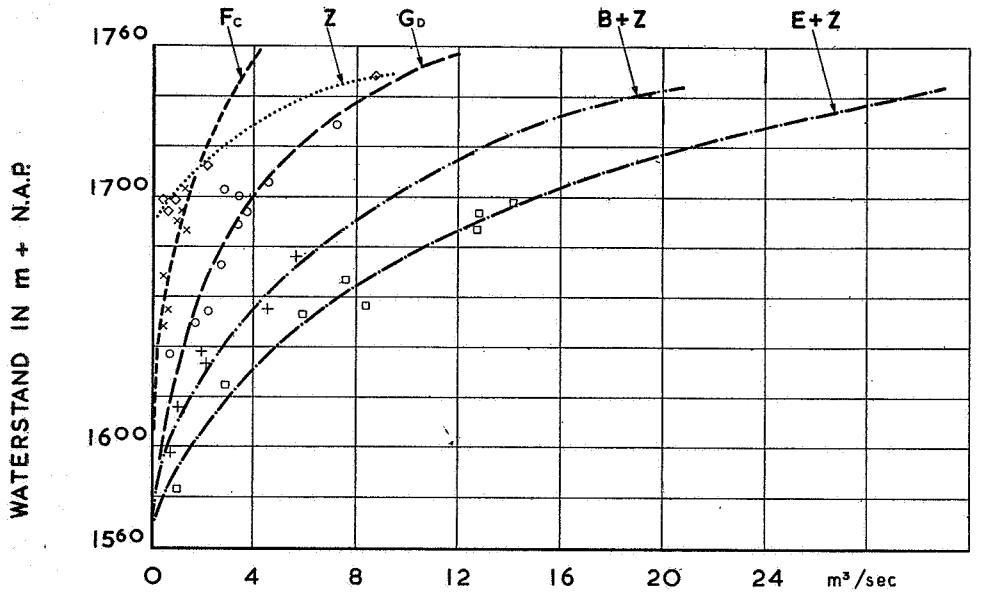
FIG. 3b. *Le bassin du ruisseau de Barneveld (partie intégrante du bassin de l'Eem, voir la figure 1a)*

een betrekkingslijn voor deze peilschalen geconstrueerd. Door gebruik te maken van deze betrekkingslijn was het mogelijk om de 3 afvoeren uit te zetten tegen de waterstanden, welke optreden hetzij bij peilschaal 31, hetzij bij peilschaal 32, waarbij bleek, dat peilschaal 31 de meest handelbare resultaten opleverde.
Uit de afvoerlijnen werden vervolgens lijnen voor het verloop van de afvoer per oppervlakte-eenheid voor de ter plaatse van peilschaal 31 optredende waterstanden afgeleid. Uit dit laatste beeld blijkt, dat bij de lage waterstanden het kleinste van de 2 stroomgebieden een kleinere en bij de hoge waterstanden een grotere afvoer per oppervlakte-eenheid heeft dan het grootste. Voldoende metingen om het verloop der lijnen ook bij zeer hoge afvoeren aan te geven, ontbreken nog. Ten slotte is nog een nomogram opgesteld, waarin het volledige stel betrekkingen tussen de afvoeren en de waterstanden voor dit complex van meetpunten en peilschalen is verwerkt.

2. Het 38 560 ha grote stroomgebied van de *Barneveldsche Beek* (zie figuur 3b) is een onderdeel van het in de figuur 1a onder nr 11 genoemde stroomgebied van de Eem. In het gebied zijn 3 meetpunten aanwezig. De afvoeren ter plaatse van de meetpunten K (9080 ha) en J (20 660 ha) zijn overwegend afkomstig van de hoge Veluwegronden. Het stelsel van open leidingen is slechts in beperkte mate ontwikkeld, waardoor hier betrekkelijk geringe oppervlakte-afvoeren optreden. Het meetpunt H bevindt zich in de Barneveldsche Beek bij de uitmonding in het Valleikanaal. De keuze van geschikte waarnemingspunten ten behoeve van het dagelijks vastleggen van de aanwezige waterstanden stuitte op moeilijkheden ten gevolge van de bijzondere plaatselijke omstandigheden. Uiteindelijk werden 3 peilschalen geplaatst, één bij elk der meetpunten. Bij het bewerken der afvoer- en waterstandsgegevens bleken de op peilschaal nr 15 (bij meetpunt J) betrekking hebbende waterstanden de beste mogelijkheden te bieden om de afvoeren onderling te kunnen vergelijken. Figuur 3b toont dan ook op de eerste plaats de afvoerlijnen afgeleid uit de afvoeren berekend uit de bij de 3 meetpunten verrichte stroomsnelheidsmetingen, aangevuld met een 4e afvoerlijn, vormende het verschil tussen de afvoer voor het meetpunt H en de som van de afvoeren voor de meetpunten K en J. De lijnen voor de afvoeren per oppervlakte-eenheid vormen wederom een geheel afwijkend beeld. Deze afvoer is voor het lage, vlakke, tussen de 3 meetpunten in gelegen deel van het stroomgebied aanzienlijk hoger dan die voor de boven de meetpunten K en J gelegen gebieden. Ten aanzien van deze 2 gebieden blijkt weer, dat het kleinste bij hoge afvoeren een grotere afvoer per oppervlakte-eenheid heeft dan het grootste.

3. De afvoerverhoudingen in het — totaal 75 300 ha omvattende — stroomgebied van de *Berkel* (zie de figuren 1a en 2b) zijn weergegeven in figuur 3c. De afvoer is gemeten bij een 3-tal meetpunten (meetpunt A, 38 400 ha, peilschaal 1a; meetpunt B, 44 300 ha, peilschaal 5; meetpunt E, 75 300 ha, peilschaal 13a) in de hoofdstroom en een 2-tal meetpunten in twee linker zijriviertjes, te weten de Leerinkbeek (meetpunt F, 5100 ha, peilschaal 14) en de Lebbinkbeek (meetpunt G, 18 600 ha, peilschaal 15). Bovendien was het noodzakelijk een extra meetpunt Z in te lassen vanwege het feit, dat een deel van de Berkelafvoer juist bovenstrooms van het meetpunt B zijdelings door middel van een aflaatsluis kan worden afgevoerd. Bij alle meetpunten is een peilschaal, welke dagelijks wordt waargenomen, opgesteld.
Voor dit complex van meetpunten (met uitzondering van het meetpunt A) is een reeks afvoerkrommen opgesteld en wel voor 4 meetpunten de gemeten afvoer als functie van de bij het meetpunt optredende waterstanden. Ten aanzien van het meest benedenstrooms gelegen meetpunt E is een uitzondering gemaakt. De aldaar optredende waterstanden geven een zodanige spreiding in de ligging der punten ten gevolge van opstuwing van de IJssel uit, dat een kromme niet te tekenen blijkt. In verband hiermede zijn de afvoeren bij meetpunt E uitgezet tegen de waterstanden, welke tijdens de uitvoering der metingen optraden bij peilschaal 5, aanzienlijk hogerop in het stroomgebied. Niet ontkend kan worden, dat de punten ook thans nog een onaangename spreiding vertonen. Tussen de peilschalen 1a, 17, 14 en 15 enerzijds en ps 5 anderzijds zijn vervolgens betrekkingslijnen geconstrueerd, zodat uiteindelijk

FIG. 3c. Afvoerkrommen van de Berkel



P S. 5

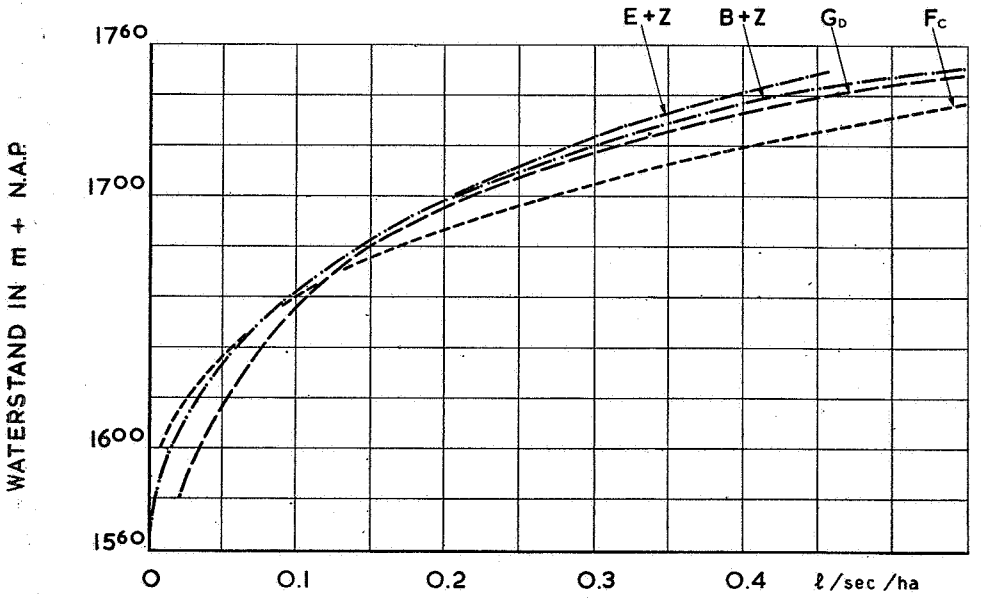


FIG. 3c. *Discharge-curves of the Berkel*

FIG. 3c. *Courbes d'écoulement du Berkel*

als functie van de bij peilschaal 5 optredende waterstanden één bundel lijnen voor de afvoeren en één voor de afvoeren per oppervlakte eenheid werden verkregen (zie figuur 3c).
Op deze wijze is aan peilschaal 5 een bijzondere betekenis toegekend, welke echter aan een bovengrens gebonden is. De afvoer bij B overschrijdt nl. nooit een vastgestelde hoeveelheid; al het meerdere (vormende in tijden van zeer groot waterbezwaar een veelvoud van de afvoer bij B) wordt bij Z zijdelings afgevoerd. Peilschaal 5 is derhalve alleen van belang voor de lage en middel-grote afvoeren van de Berkel. Voor de grote en zeer grote afvoeren zal peilschaal 5 het veld moeten ruimen voor peilschaal 17, in het afleidingskanaal. Het verzamelde materiaal is nog onvoldoende om de juistheid van deze verwachting aan de hand van exacte gegevens te kunnen aantonen.

6. Werkplan

Ofschoon de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat reeds in 1942 opdracht kreeg aandacht te besteden aan de Waterhuishouding van Nederland kon een activiteit van een enigszins betekenende omvang ten gevolge van de oorlog eerst na 1946 ontwikkeld worden. Voorshands is deze activiteit beperkt gebleven tot het opstellen van meetplannen, het op gang brengen van de metingen en de waarnemingen in de verschillende gebieden en het voorzoveel mogelijk uitwerken, overeenkomstig de getoonde voorbeelden, van de reeds verkregen meetresultaten. Bovendien is met betrekking tot de Regge en de Dommel de ervaring opgedaan, dat een periode van 10 jaren nauwelijks voldoende is te noemen tot het verkrijgen van volledige afvoergegevens. Voor de Limburgse beken (zie fig. 1b en de nrs 22 t/m 41 van de tabel), waarin pas onlangs voor de eerste maal metingen zijn uitgevoerd, ligt het tijdstip, waarop volledige afvoergegevens ter beschikking zullen zijn, dan ook in een nog min of meer verre toekomst.

Zodra echter betrouwbare afvoerkrommen gereed zijn en zodra voldoend lange en ononderbroken reeksen van betrouwbare waterstandswaarnemingen van de daarbij betrokken peilschalen ter beschikking zijn, zal overgegaan worden tot het berekenen van de waterhoeveelheden, die gemiddeld per jaar, per seizoen, per maand enz. tot afvloeiing komen, tot het vaststellen van de frequenties, waarmede nader te bepalen zeer grote afvoeren optreden, tot het opstellen van verwachtingen omtrent de grootte van de maximum afvoer, tot het vergelijken van de resultaten, gevonden voor stroomgebieden, welke nog niet genormaliseerd zijn met die, welke gevonden zijn voor reeds genormaliseerde gebieden of met die, welke het betreffende stroomgebied na verbetering opleveren, tot het bestuderen van de correlatie tussen de grootte van hydrologisch gelijksoortige stroomgebieden en de afvoer per oppervlakte-eenheid, tot het vaststellen van het verband tussen de neerslag, de grondwaterstand, de bodemsamenstelling, de bodembedekking en de afvoer.

Er zijn vele vragen, welke beantwoord moeten worden. De mogelijkheid tot het geven van een bevredigend antwoord is nog uiterst beperkt en wel om de volgende redenen:

1. De beschikbare reeksen peilschaalwaarnemingen zijn nog van te geringe lengte.
De reeds tijdens de oorlog aangevangen waarnemingen vormen reeksen, welke verre van compleet zijn. Door gebrek aan een voldoende contrôle laat bovendien de betrouwbaarheid van deze vroegste gegevens dikwijls in onbekende mate te wensen over. De laatste 2 à 3 jaren is hierin een grote wending ten gunste gekomen, echter niet zonder dat een regelmatige contrôle op de waarnemers (particuliere personen, wonende nabij de plaats van opstelling van de peilschalen) geboden blijft.
Bij de uitwerking der afvoerkrommen is echter gebleken, dat met betrekking tot vele peilschalen het eenmaal per dag waarnemen van de waterstand onvoldoende is. Veelal moet geïnterpoleerd worden en bij plotselinge waterspiegelstijgingen, welke vooral in de genormaliseerde gebieden dikwijls volledig tot ontwikkeling komen binnen de 24 uren, mag de uit interpolatie afgeleide waterstand op een slechts geringe nauwkeurigheid aanspraak maken. De exacte vaststelling van de opgetreden maximum waterstand is onmogelijk daar het van het toeval afhangt of de dagwaarneming juist ten tijde van de topstand wordt verricht; het maximum kan in het algemeen op deze wijze slechts globaal benaderd worden.
In verband hiermede zal op korte termijn worden overgegaan tot het meer dan eenmaal per dag waarnemen van enige peilschalen en het opstellen van registrerende peilschalen, zodat reeksen van waarnemingen, waarvan verwacht mag worden dat zij behalve winst aan nauwkeurigheid bovendien winst aan bruikbaarheid zullen opleveren, gevormd zullen worden. De peilschalen zullen hiertoe in 3 groepen (eenmaal daags, tweemaal daags en registrerend) worden onderverdeeld op basis van het belang, dat aan de betreffende reeks waterstandswaarnemingen kan worden toegekend.

2. Het tempo, waarin thans de vereiste stroomsnelheidsmetingen worden uitgevoerd en waarin de resultaten bewerkt en in tekening gebracht worden, kan met inachtneming van de huidige personeelsformatie en de huidige omvang van de technische hulpmiddelen niet worden verhoogd. Een krachtige voortzetting van het onderzoek is echter dringend gewenst, daar de aanvragen om gegevens in aantal toenemen, waarbij telkens blijkt, dat een antwoord op korte termijn wordt verlangd. Een uitbreiding van de personeelsformatie en van het materieel is urgent te noemen. Maatregelen, welke er toe zullen leiden, dat de vereiste afvoergegevens sneller ter beschikking zullen kunnen komen, zijn in voorbereiding.

3. Het probleem van de waterhuishouding is niet te scheiden van de problemen, verbonden aan de neerslag, zoals hoeveelheden hiervan per jaar, per seizoen, per n-dagen, per dag, per daggedeelte; frequenties, streekinvloeden; droogteperioden; perioden met uitzonderlijk veel neerslag. De gedachten gaan uit naar het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te De Bilt. Kostbare neerslagwaarnemingen liggen in de archieven van dit instituut opgeborgen. Een allereerste bewerking heeft plaats gevonden. De urgentie van een veel omvangrijkere, tot in vele bijzonderheden afdalende, bewerking houdt gelijke tred met die, verbonden aan de bestudering van de waterhuishoudingsproblemen. De instelling van de onder leiding van Prof. Ir HELLINGA gestelde „Werkgroep Regenwaarnemingen T.N.O." op 26 November 1951

door de Voorzitter van de Hydrologische Commissie T.N.O., Prof. KRUL, betekent een aanzienlijke sprong vooruit. Inmiddels is het de Commissie gebleken, dat de voor de neerslag aan de dag tredende belangstelling èn veelzijdig èn algemeen is. Door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut wordt inmiddels naar wegen gezocht om tot een intensievere bewerking van het neerslag-waarnemingsmateriaal over te kunnen gaan.

De bestudering van de correlatie tussen neerslag en beekafvoeren eist in aansluiting hierop het treffen van aanvullende maatregelen. In dit licht gezien treedt — scherper dan zulks bij de waterstandswaarnemingen het geval is — op de voorgrond de onvolkomenheid, verbonden aan de eenmaal-daagse waarneming. Moet bij de waterstandsfluctuaties gesproken worden van verschijnselen, welke in daggedeelten tot ontwikkeling komen, bij de regenval treden tijdsintervallen van uren op de voorgrond. De registratie èn van de regenval èn van de waterstanden geeft een fascinerend beeld van de wijze, waarop oorzaak en gevolg elk voor zich tot ontwikkeling komen en ophouden te bestaan en bovendien op elkaar zijn afgestemd.

De diagrammen (fig 4) van de in de Luntersche Beek opgestelde combinatie van een registrerende regenmeter-peilschaal tonen een en ander duidelijk aan. De figuur 4a geeft aan, dat een neerslag van 19½ mm, gevallen in de avond van 10 Augustus 1950, gevolgd wordt door een waterspiegelstijging van 18 cm, terwijl een neerslag van 9 mm, gevallen in de middag van 13 Augustus 1950, een waterspiegelstijging van 17 cm veroorzaakt. Daar ten tijde van de tweede regenbui de waterstand klaarblijkelijk nog onder invloed stond van de eerste regenbui, wordt in het tweede geval een bijna evengrote waterstandsverandering veroorzaakt, terwijl de neerslag de helft is van die, welke bij de eerste bui gevallen was (herhalingsinvloeden). Uit de vergelijking van de diagrammen volgt, dat de regenval in de zomer een naar verhouding veel geringere waterspiegelstijging veroorzaakt dan de regenval in de winter (seizoeninvloeden).

Deze voorbeelden vormen overtuigend bewijsmateriaal voor de noodzaak gebruik te maken van eenvoudige technische hulpmiddelen (waartoe registrerende regenmeters en peilschalen gerekend kunnen worden) om het inzicht in de verschijnselen, welke een rol spelen bij de bestudering van de waterhuishouding, te versterken en te verdiepen. Toepassing van registrerende waterstandsmeters zal in verband hiermede veel aan waarde winnen, indien zulks gepaard zal gaan met de toepassing van registrerende regenmeters. In enkele gunstige gevallen zal een gecombineerde apparatuur gebruikt kunnen worden.

Daar de belangen, welke gediend worden met een verkregen juist inzicht in de problemen, voortvloeiende uit de steeds zwaarder wordende eisen, welke aan de waterhuishouding van Nederland worden gesteld, velerlei zijn en in verband hiermede ook de rij belanghebbenden uitermate lang en gevarieerd van samenstelling is, is het duidelijk dat hier een taak voor de Overheid is weggelegd en daarbij op de eerste plaats voor de Rijkswaterstaat en vervolgens evenzeer voor de Provinciale Waterstaatsdiensten en de technische diensten van de Waterschappen. Een omschrijving van deze taak is moeilijk te geven.

FIG. 4. Diagrammen van een in de Luntersche Beek (onderdeel van het stroomgebied van de Eem, zie fig. 1a, nr 11) bij Renswoude geplaatste registrerende regenmeter annex registrerende peilschaal

a. periode 9–16 Augustus 1950 b. periode 1–8 November 1950

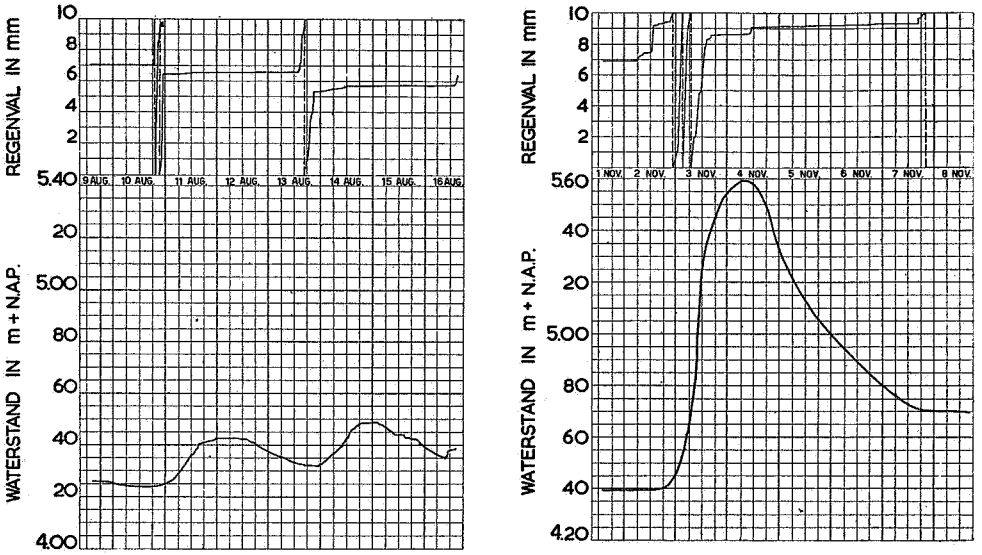


FIG. 4. *Diagrams of a self-recording rain gauge/waterlevel gauge placed near Renswoude in the Lunteren brook (part of the Eem basin, see fig. 1a, no. 11)*
a. period from 9th to 16th August 1950 b. period from 1st to 8th November 1950

FIG. 4. *Diagrammes d'un pluviomètre enregistreur, connexe échelle d'eau enregistrice, disposé dans le ruisseau de Lunteren (partie intégrante du bassin de l'Eem, voir la fig. 1a, no 11) près de Renswoude*
a. période du 9 au 16 août 1950 b. période du 1 au 8 novembre 1950

Uit een samenwerking in geregeld overleg en goede harmonie zal een taakverdeling kunnen groeien, welke de gemeenschap in haar geheel, alsmede elk der deelnemende partijen ten voordeel zal strekken. Spelen in de Waterstaatssector de taakverdeling èn de belangenbehartiging een rol — waarbij deze zodanig op elkaar zullen moeten worden afgestemd, dat een zo vruchtbaar mogelijk effect verwacht mag worden — ten aanzien van de landbouwsector is een nauwe samenwerking geboden, opdat wederzijds een zodanig begrip voor de wensen en de mogelijkheden tot verwezenlijking zal ontstaan, dat de studie van de waterhuishouding zo efficiënt mogelijk zal kunnen worden uitgevoerd en gevolgd zal kunnen worden door het opstellen van conclusies, het uitvoeren van maatregelen of anderszins, welke èn waterstaatkundig èn landbouwkundig bezien door een ieder als redelijk kunnen worden aanvaard.

Hetgeen hier voor het gehele probleem van de waterhuishouding is betoogd, geldt evenzo voor de bestudering van de afvoer van en de afvoerverhoudingen in de

stroomgebieden van de kleine rivieren, welke studie slechts betrekking heeft op een klein onderdeel van de waterhuishouding. Ten aanzien van de taakverdeling ontstaat onmiddellijk behoefte aan het opstellen van enkele normen.

Een eerste norm, welke tot heden reeds door de Rijkswaterstaat werd aangehouden, is deze, dat niet in algemene zin tot in kleine detailmetingen en onderzoekingen moet worden afgedaald. Zou dit wel gebeuren dan zou het arbeidsveld grenzeloos worden. Er dient zover gegaan te worden, dat voor elk stroomgebied afzonderlijk de voornaamste gegevens ter beschikking komen en voor onderlinge vergelijking geschikt zijn. Deze norm is geconcretiseerd in de thans opgestelde meetplannen. Voor de provinciale waterstaatsdiensten, voor de technische diensten van waterschappen en voor de ingenieursbureaux, welke door waterschappen worden geraadpieegd, zal het veelal wenselijk zijn om verder in details te treden. Omtrent de hieruit voortvloeiende werkzaamheden zal onderling overleg — ook met de Rijkswaterstaat — gewenst zijn, opdat de juiste instantie op de juiste plaats en volgens de beste methode haar geld en goede diensten zal kunnen besteden en aanwenden. De gelden, welke aan onderzoekingen besteed worden, kunnen immers alleen dàn hun volle rente opleveren indien door aller samenwerking gunstige omstandigheden voor een zo succesvol mogelijk verloop der onderzoekingen zal worden zorggedragen. Ook zullen de resultaten der onderzoekingen voor belangstellenden bereikbaar moeten zijn, b.v. door verstrekking van de onderzoekresultaten op aanvraag, door publicatie daarvan in tijdschriften als het *Landbouwkundig Tijdschrift* of *De Ingenieur*, door bespreking der onderzoekingen in voordrachten, te houden voor de gemeenschappelijke bijeenkomsten van de Cultuurtechnische Vereniging.

7. Overzicht

Het hiervoor medegedeelde kan onder toevoeging van enkele aanvullingen worden samengevat in de volgende punten:

1. De invoeging van alle belangrijk te achten stroomgebieden van de Nederlandse beken in het onderzoekplan met betrekking tot de waterhuishouding van deze gebieden zal in 1953 kunnen worden voltooid.
2. Het verzamelen van waterstandswaarnemingen met betrekking tot een groot aantal peilschalen vindt geregeld voortgang.
   Voor alle peilschalen wordt gestreefd naar een ononderbroken voortzetting der waarneming gedurende een periode van ten minste 10 jaren.
3. Het verzamelen van eenmaal-daagse waarnemingen is gebleken onvoldoende te zijn. Er zal voor verschillende peilschalen worden overgegaan tot de invoering van tweemaal-daagse waarnemingen of tot het waarnemen door middel van registrerende peilschalen.
4. Met het uitvoeren van stroomsnelheidsmetingen en het berekenen hieruit van de beekafvoeren is bereids een aanvang gemaakt. Voor verschillende beken zijn voorlopige afvoerkrommen opgesteld.

5. Voorlopige afvoerkrommen, gebaseerd in het algemeen op metingen bij lage en middelhoge waterstanden en bij uitzondering bovendien op een enkele meting bij hoge tot zeer hoge waterstanden, kunnen meestal na 2 of 3 jaren, nadat met de metingen werd aangevangen, worden opgesteld.
6. De mogelijkheden om bij hoge en zeer hoge waterstanden op een betrekkelijk ruime schaal stroomsnelheidsmetingen te doen verrichten, zijn thans nog beperkt. Uitbreiding van de personeelsformatie en van het instrumentarium is urgent en in voorbereiding.
7. Volledige afvoerkrommen kunnen eerst worden opgesteld na een periode van globaal 10 jaren in verband met het weinig frequent voorkomen van die meteorologische omstandigheden, welke topafvoeren tot gevolg hebben.
8. Elke instantie, welke afvoergegevens en waterstandswaarnemingen verzamelt, zal in een zo ruim mogelijke mate moeten bevorderen, dat de gegevens en waarnemingen op een zo eenvoudig mogelijke wijze ter beschikking van andere belanghebbenden en belangstellenden kunnen komen.
9. De toepassing van registrerende regenmeters is waardevol te noemen, zodat de opstelling van zodanige instrumenten op daarvoor in aanmerking komende punten in nader aan te wijzen stroomgebieden zal worden nagestreefd.
10. De aan de dag getreden belangstelling voor een zeer uitvoerige bewerking der in de archieven van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut aanwezige neerslagwaarnemingen komt voor een groot deel van diegenen, die met waterhuishoudingsproblemen te maken hebben, zodat het van groot belang is te achten, indien op korte termijn met deze bewerking zal kunnen worden aangevangen.

DISCUSSIE

Ir P. STELLING: Samenwerking tussen de diensten, die zich bezig houden met onderzoekingen op dit gebied, zou van groot belang zijn. Ligt het niet op de weg van de Rijkswaterstaat deze coördinatie te verwezenlijken?

ANTWOORD: De tijd lijkt nog niet rijp te zijn om deze coördinatie reeds thans in gereglementeerde vorm te verwezenlijken. Het beschikbare materiaal is nog te beperkt om reeds het maken van vergelijkingen toe te laten. Begonnen zal moeten worden met de zo noodzakelijke coördinatie van geval tot geval na te streven. Een goede oplossing voor een samenwerking in groter verband zal dan vervolgens wellicht op eenvoudige wijze te bereiken zijn.

Prof. W. F. J. M. KRUL: Het is van groot belang de afvoer- en peilmetingen van het oppervlaktewater te coördineren met waarnemingen van de grondwaterstand. Hoe eerder men hiermee begint, des te beter zal men in de toekomst het verband tussen oppervlaktewater en grondwater kunnen bestuderen. De tijd is dus rijp voor contact met het Archief voor Grondwaterstanden T.N.O.

ANTWOORD: Inderdaad. Het net van waarnemingspunten van de grondwaterstand van de C.O.L.N. (Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding in Nederland) kan hierbij van groot nut zijn. Van deze waarnemingen zal in de toekomst veelvuldig gebruik gemaakt moeten worden. Het daartoe noodzakelijke contact met het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. zal worden tot stand gebracht.

Prof. Ir F. HELLINGA:

1. Voor de bestudering van de waterbalans van stroomgebieden is het van belang de meest verfijnde afvoermetingen te verrichten in die gebieden, waar de beste metingen van de grondwaterstanden worden uitgevoerd.
2. Zou het niet veel zin hebben soortgelijke afvoermetingen te verrichten in polders, waar door ijking van het gemaal de afvoergegevens veel gemakkelijker voor studiedoeleinden beschikbaar komen?

ANTWOORD: 1. Inderdaad. Onderzocht zal dan echter moeten worden, voor welke gebieden de beste grondwaterstandswaarnemingen ter beschikking zijn.

2. Voor het verrichten van deze metingen zijn voorlopig niet voldoende tijd en personeel beschikbaar. Het voorstel wordt echter gaarne in overweging gehouden.

Ir J. B. SCHIJF: Met het oog op het feit, dat door verschillende instanties soortgelijke gegevens worden verzameld, verdient het aanbeveling deze in een centraal archief te verzamelen. Daarvoor zou wellicht de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat de aangewezen instelling zijn.

ANTWOORD: Een dergelijk archief voor gegevens van afvoermetingen is zeker wenselijk. Mocht de Directie Algemene Dienst een desbetreffende opdracht krijgen, dan zal daaraan gaarne een uitgebreide medewerking worden verleend.

Prof. Ir W. F. EIJSVOOGEL:

1. Is het niet aanbevelenswaardig het woord afvoercoëfficiënt in de betekenis van „afvoer per oppervlakte-eenheid van een gebied" niet meer te gebruiken?
2. Welke doeleinden streeft men na met ééndaagse waarnemingen? Is de inleider het niet met de vraagsteller eens, dat voor het bepalen of benaderen van een maximum afvoer de registrerende peilschaal het enige reële hulpmiddel is?

ANTWOORD: 1. Van het gebruik van het woord afvoercoëfficiënt in de genoemde betekenis dient te worden afgezien, zowel om taalkundige als om technische redenen. Wellicht zou de term specifieke afvoer kunnen worden gebruikt.

2. Het is practisch niet uitvoerbaar alle meetpunten te voorzien van registrerende peilschalen. Er zal een oplossing gekozen moeten worden, welke het ideaal zoveel mogelijk benadert.

Ir F. VOLKER deelt nog mede, dat talrijke problemen nog niet of onvoldoende zijn onderzocht, zoals de invloed van de waterberging en de kwel.

IV. DE BETEKENIS VAN DEBIETMETINGEN IN BEKEN VOOR LANDVERBETERINGSWERKEN

W. C. VISSER
Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht

Nu de metingen van de debieten van de Nederlandse beken goed op gang zijn gekomen, is het gewenst, dat van de zijde van de landbouwbelangen omtrent de betekenis van deze metingen een standpunt wordt geformuleerd. Waarom, zo kan men zich afvragen, heeft de landbouw behoefte aan een nadere kennis van deze debieten en welke eigenschappen van deze afstroming wenst men in getalmaat te kennen. Welk deel van de ontwerpen wil men op deze gegevens opbouwen.

Vastgesteld mag worden, dat velen uit de landbouw veel van deze series waarnemingen verwachten. Deze belangstelling berust echter niet op ervaring, verkregen in een herhaald gebruik, zodat hierna vrijwel alleen kan worden aangegeven, wat men met deze waarneming zou willen gaan doen en niet, wat men reeds gedaan heeft.

De samenhang tussen het landbouwkundig doel van een waterstaatkundige verbetering, namelijk een meer rendabel bedrijf, en het hydrologisch middel van de debietmeting, is lang en weinig overzichtelijk. Wanneer men de details van deze samenhang nagaat, zal blijken, dat de debietmetingen eerst tot waarde zullen kunnen komen, wanneer een gehele keten van vragen uit andere gedeelten van het vakgebied van de landbouwhydrologie eveneens tot de oplossing bijdraagt. Om dit te kunnen verduidelijken, mag eerst een overzicht worden gegeven van de landbouwkundige doelstelling van de hydrologie, om vandaar uit de relaties te verkennen, die de band met de debietmeting vormen.

1. Het landbouwkundig doel van de waterbeheersing

a. De invloed op de opbrengsten

De betekenis van de waterafvoer ligt in de mogelijkheid deze op zo'n wijze te hanteren, dat aan de waterstanden in het land een gedrag wordt opgelegd als voor de optimale groei van het gewas noodzakelijk is. De meest algemene weergave van de reactie van het gewas op de grondwaterdiepte geeft figuur 1. De vorm van de curve is welbekend. De vier te onderscheiden gedeelten van de curve geven een hydrologisch criterium voor even zovele landbouwkundig welbekende toestanden. Een te nat

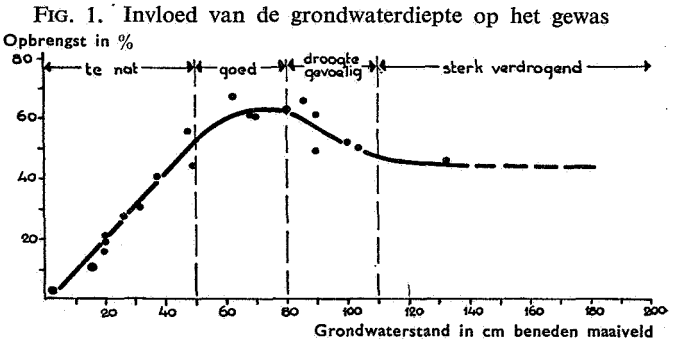


FIG. 1. Invloed van de grondwaterdiepte op het gewas

FIG. 1. *Influence of the groundwater level on crop growth*

FIG. 1. *Incidence de la surface de la nappe souterraine sur la végétation*

gebied reikt voor deze grond en dit gewas tot 50 cm. Hier treden ernstige oogstdepressies op. Van 50 tot 80 cm is de waterhuishoudkundige toestand goed. Bij ontwateringsdiepten van 80 tot 110 cm heeft men met het droogtegevoelige deel van het traject te maken. Boven 110 cm ontwateringsdiepte treden de te droge toestanden op, waarbij de groei van het gewas niet meer van de waterdiepte, maar alleen van de bodemeigenschappen afhangt.

De figuur toont als eerste voorwaarde voor de afvoerbepalingen aan, dat zij moeten kunnen strekken tot een inzicht hoe een bepaalde grondwaterstand kan worden verwerkelijkt.

FIG. 2. Verband tussen opbrengst van het gewas en de vochthoudendheid van de grond

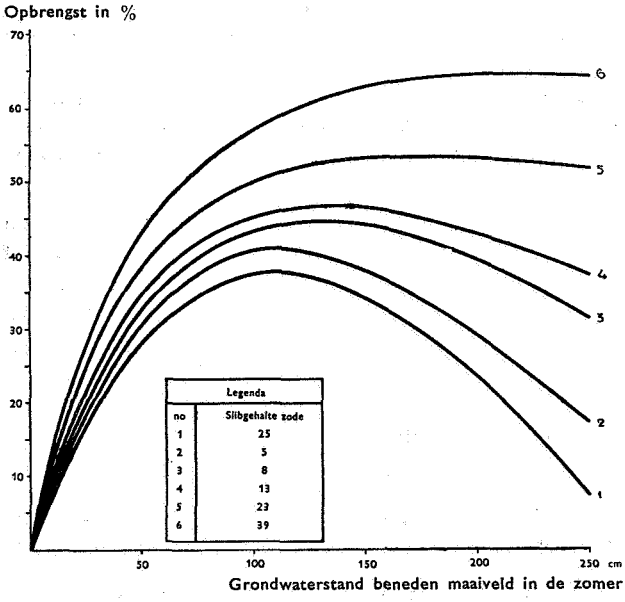


FIG. 2. *Relation between the yield of the crop and the water retaining capacity of the soil*

FIG. 2. *Relation entre le rendement de la végétation et la capacité de retention d'eau du sol*

In figuur 2 komt een ander aspect van de ontwateringsdieptecurven naar voren, en wel de omstandigheid, dat de verdroging afhankelijk is van de vochthoudendheid van de grond. Naarmate het slibgehalte van de zes bijeengebrachte profieltypen lager is, daalt de opbrengst met diepere ontwatering sterker, terwijl bij hoge slibgehalten de depressie geheel verdwijnt. Deze zware gronden worden productiever, naarmate men ze dieper ontwatert. In de elkander tegenwerkende invloeden van met diepere ontwatering verbeterende doorluchting en afnemende vochtverzorging verschuift het punt van het optimum. Hierdoor zullen de sterkst verdrogende gronden, waar de schade bij geringe overdrijving van de ontwateringsdiepte reeds sterk voelbaar wordt, de geringste diepte voor de optimale ontwatering laten zien.

Als tweede voorwaarde voor de debietmetingen mag dus gelden, dat de afvoerbepalingen een plaats kan worden gegeven in een hydrologisch geheel, dat naast een plantenteeltkundige inslag ook bodemkundig bepaald is.

Het is waard hier opmerkzaamheid te vragen voor de complicaties, die deze landbouwkundige eis van ontwatering naar gelang van het profieltype in de meeste

beekverbeteringen in het plan van waterbeheersing aanbrengt. De toestand is veelal zo, dat in het midden het beekdal een min of meer hoog slibgehalte heeft, dat naar de flanken geleidelijk overgaat in steeds slibarmer gronden (figuur 3).

FIG. 3. Afnemend slibgehalte van de grond in een beekdal van het midden naar de rand

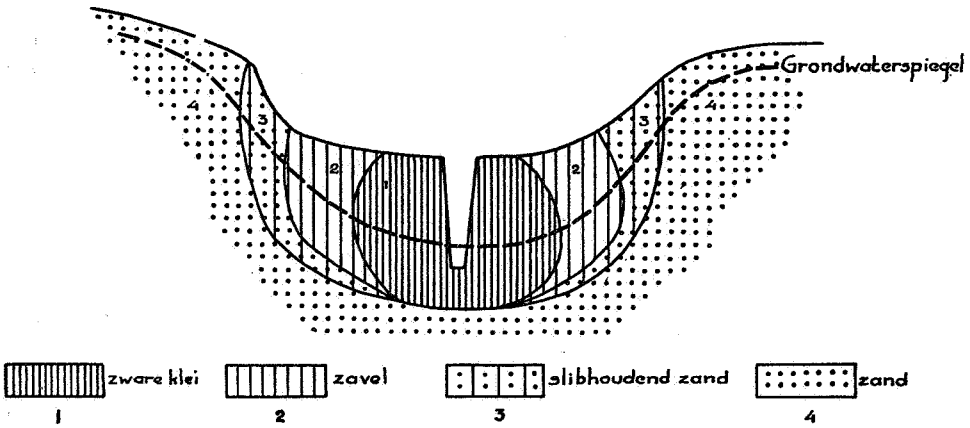


FIG. 3. *Diminishing clay content of the soil in the valley of a brook from the middle to the sides*

FIG. 3. *Teneur en limon régressant du sol dans un lit de cours d'eau du milieu aux bords*

Deze hoge flanken zouden dus b.v. 80 cm diep ontwaterd moeten worden, terwijl naar het centrum van het beekdal de ontwateringsdiepte geleidelijk zou moeten toenemen tot 1,50 m en meer. De verschillen in hoogtetopografie van de grondwaterspiegel zullen dus een versterking van die van het maaiveld moeten vormen. Een landbouwkundig toegespitst ontwateringsplan zal loodrecht op de waterlopen een groter hoogteverschil in het grondwater vorderen dan in het maaiveld van het beekdal voorkomt. Dit zal de stroming van de flanken naar het centrum van het beekdal doen toenemen, de afvoer van de beek vergroten en wateraanvoer noodzakelijk maken om de zandige gronden de gewenste ontwateringsdiepte te doen behouden.

Een ander punt, dat de aandacht vergt, is dat de grondwaterstand geen vaste waarde heeft, maar 's zomers laag en 's winters hoog pleegt te zijn. Uit figuur 4 kan worden afgelezen, dat de productiviteit van de grond daalt, naarmate deze fluctuatie in ontwateringsdiepte groter is. De oogstdepressie bij grote fluctuaties kan zeer aanzienlijk zijn en de debietmetingen zullen dus mede een grondslag moeten kunnen zijn van facetten van een verbeteringsplan, dat speciaal ten doel heeft deze fluctuaties zo klein mogelijk te houden.

b. De invloed op het bedrijfstype

De gebruikelijke beschouwingen richten zich tot de opbrengsten van de gewassen. Het lijkt zeer de vraag of deze beschouwingswijze wel op zichzelf maatgevend mag

FIG. 4. Afnemende productiviteit bij toenemende fluctuatie in ontwateringsdiepte

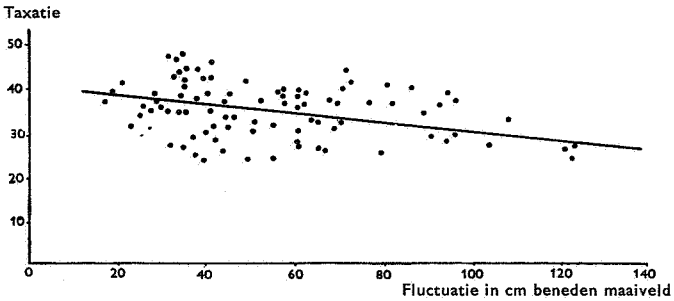


FIG. 4. *Diminishing crop yield by increasing fluctuation of the groundwater level*

FIG. 4. *Productivité diminuante en présence d'une fluctuation croissante du niveau de la nappe souterraine*

worden geacht. Een betere regeling van de waterhuishouding toch zal de keuze van de gewassen niet onbeïnvloed laten. De ervaring is dan ook wel, dat een verbetering van een stroomgebied eerst dan gelukt mag heten, wanneer een verschuiving in het bedrijfstype naar een intensiever vorm het gevolg daarvan is.

Het is mogelijk een landbouwkundig criterium voor de gewassenkeuze op te stellen, waarvan de frequentie van voorkomen van de verschillende gewassen als een kansverdeling gecondenseerd wordt tot een mediaan en een spreidingsmaat. In de gewassen kan men een rangorde onderscheiden naar de eisen gesteld aan de vochtvoorziening. Voor elke vochttoestand is een bepaald gewas het meest optimaal. De bedrijfsvoering eist op deze grond echter ook andere gewassen. De kans op de verbouw van een gewas zal echter afnemen naarmate het eisen stelt, die verder afwijken van de werkelijk optredende vochttoestand.

FIG. 5. Verband tussen de frequentie van voorkomen van een bepaald gewas en de grondwaterdiepte

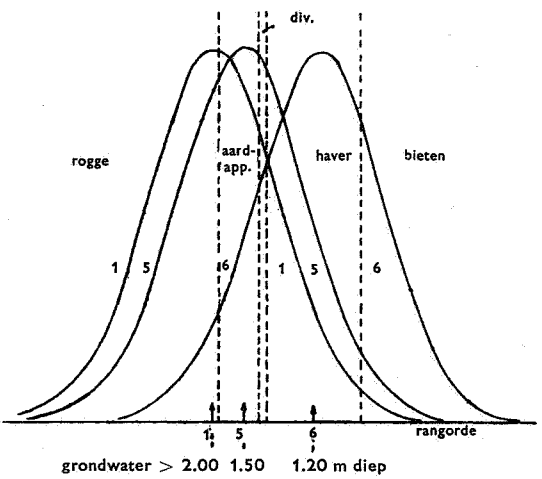


FIG. 5. *Relation between the frequency of occurrence of a certain crop and the depth of groundwater*

FIG. 5. *Relation entre la fréquence dans laquelle une plante de culture déterminée se trouve cultivée et la profondeur de la nappe souterraine*

In figuur 5 is de opeenvolging van gewassen naar hun vochteisen aangegeven. Rogge kan het beste tegen droogte, bieten eisen het meeste vocht. Voor drie ontwateringsdiepten is aangegeven, welke gewassenkeuze op de practijkpercelen werd aangetroffen. De diepe ontwatering uit zich in het betelen van meer dan de helft van de percelen met rogge, de ontwatering tot 1,20 m diepte doet de rogge bijna geheel wegvallen en haver en bieten sterk naar voren komen. Door een goede waterbeheersing kan men de kansverdelingsfiguur van de

gewassenkeuze langs de as van de vochtbehoefte verschuiven totdat de vruchtopvolging is verkregen, die onder de heersende omstandigheden het meest gewenst is.

Het onderzoek in deze richting is nog te jong om reeds een duidelijke indruk te kunnen geven van de mate, waarin deze resultaten de hydrologische doelstelling mede zullen bepalen. De voorlopige zienswijze is echter wel, dat op deze wijze waardevolle richtlijnen voor de waterbeheersing en dus voor het gebruik van de gegevens van de debietmeting kunnen worden verwacht.

2. Het gebruik van de debietmetingen

a. De kansverdeling van peilmetingen

De metingen aan beken worden ten dele eenmaal daags als peilmeting uitgevoerd en via een ijkingscurve in debieten omgezet. In figuur 6 tonen wij een resultaat van

Fig. 6. Debietmetingen in een rivier in Californië

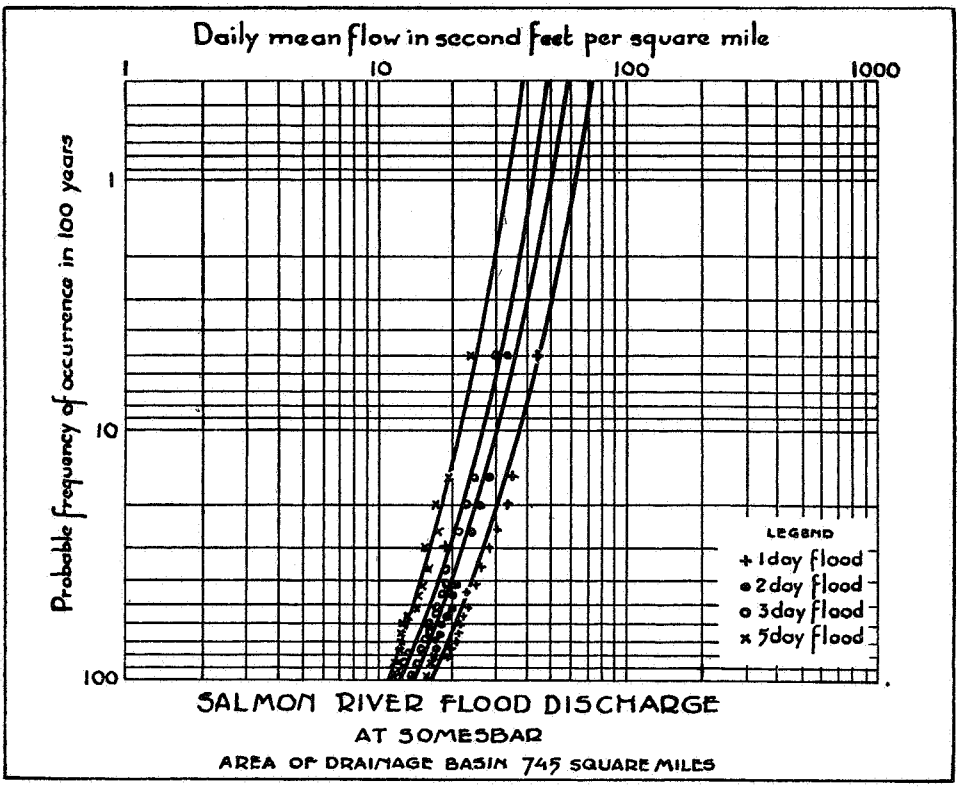


Fig. 6. *Discharge measurements in a Californian river*

Fig. 6. *Mesurages de décharge dans une rivière en Californie*

dergelijke metingen uit Californisch waarnemingsmateriaal. Nu dient men zich duidelijk voor te stellen, wat de betekenis van deze debieten kan zijn. Vast staat wel, dat men veelal na een profiel voor de verbeterde beek te hebben vastgesteld, de frequentie van de debieten weer om zal zetten in een frequentie van peilen. Het gaat dan om de waterstand, niet om de hoeveelheid afgevoerd water. Voor technische doeleinden zal men de standen in kunstwerken of beekpanden willen kennen en komt meestal een maatgevende hoge stand — ten onrechte wel hoogste stand genoemd — als criterium in aanmerking. Dit is het probleem van de hoogwaterlijn. Bij scheepvaart kan een maatgevende laagste stand eveneens voorkomen, meestal dan niet uitgedrukt in frequentie maar in duur van voorkomen.

De landbouweisen stellen een eigen criterium van hoogste en laagste stand in verband met het gewas. Hierbij vormt echter de gebrekkige kennis van de relatie tussen grond- en slootwaterstand veelal een zwakke schakel. De schade van overstromen mag door figuur 7 nog eens worden aangetoond, waar de taxatiewaarde van grasland bij gelijke zomerstand zeer diepgaand wordt beïnvloed door het tijdelijk onder water staan van het land. Afhankelijk van de weerstoestand kan de depressie groter of kleiner zijn. Winteroverstroming tijdens vorst hindert het minst, maar tijdens de groei van het gras kunnen overstromingen enorme oogstverliezen veroorzaken. Figuur 7 geeft een beeld van het laatste.

FIG. 7. Schade aan grasland door overstroming

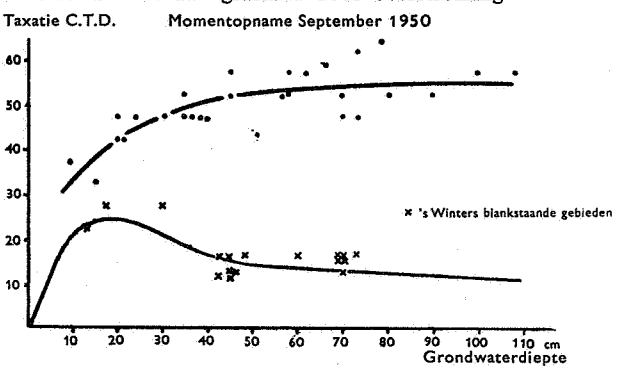


FIG. 7. *Damage to grassland due to inundation*
FIG. 7. *Dégâts occasionnés à des prairies par des inondations*

Maar ook de laagste stand is landbouwkundig van belang, zowel wegens de te lage stand van het grondwater, die er mede zal samenhangen, alswel wegens het afvloeien van water in droge tijden, dat men niet gewenst acht. En als gevolg van deze overwegingen ziet men dan ook bij moderne beekreguleringen de zeer brede en ondiepe profielen optreden, die vaak eerst na veel strijd met de belanghebbenden kunnen worden verwerkelijkt. Het grote grondverlies is echter een lage prijs voor het voorkomen van te hoge zowel als te lage standen.

b. De kansverdeling van de debieten

De ontwikkeling van de waterbeheersing beweegt zich naar het gebruik van water als groeifactor, en maakt het van belang te weten hoeveel water er met een bepaalde waarschijnlijkheid op het moment van behoefte aanwezig is of beschikbaar kan worden gemaakt. Al naar gelang van de mogelijkheid van reservering van water door

opstuwing of opzetten van grondwater in anders diep ontwaterde gedeelten van het stroomgebied zal men behoefte hebben aan kanskrommen voor één- of meerdaagse debieten.

Het is dit vraagstuk, dat zich het nauwste aan de opzet van de huidige debietmeting aansluit. De ontwatering van stroomgebieden is echter over het algemeen nog niet in het stadium getreden, dat dit type vraagstukken een grote urgentie heeft. Het stemt tot voldoening dat er in dit opzicht tijd genoeg zal zijn om de vele jaren vergende metingen uit te voeren, die nodig zijn om een goed kansoverzicht samen te stellen.

c. De zelfregistrerende metingen

Naast de eenmaaldaagse opmeting staat het door zelfregistrerende meters verkregen aaneengesloten beeld van de debieten. Het doel hiervan moet een geheel ander zijn dan van de dagelijkse momentopnamen. Voor het verkrijgen van een kansverdeling is een voortdurende opname evenmin nodig als het voor een indruk van de gemiddelde lengte van de Nederlander nodig is, ze alle tien millioen te meten. Men zou daartoe zelfs niet elke dag een momentopname behoeven te doen. Het doel van de zelfregistrerende meting is dan ook anders en moet gezien worden als een middel om de normgevende afvoergolf te leren kennen. Deze normgevende afvoergolf, in de literatuur bekend als unit hydrograph, is de afvoergolf, die onder bepaalde omstandigheden van het terrein tot afvoer komt bij een kortdurende regenbui van bepaalde sterkte. Figuur 8 geeft hiervan een beeld. In een gebied met goede detailafvoer zal de grootste hoeveelheid water snel tot afstroming komen, terwijl door het ontbreken van een waterlopenstelsel de afstroming weinig sterk zal zijn, maar lang zal duren.

FIG. 8. Normgevende afvoergolf

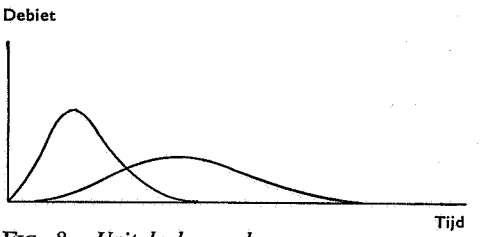


FIG. 8. *Unit hydrograph*

FIG. 8. *Unité hydrographique*

Juist het kennen van de invloed van de dichtheidsverschillen in het stelsel van de detailontwatering, de variaties in waterbergend vermogen, de verschillen in doorlatendheid, de regenval en de verdamping op de afvoergolf zullen de basis moeten vormen voor het voorspellen van de invloed van nieuwe leidingen op de waterafvoer van het behandelde gebied. Deze werking kan zowel gezocht worden in de richting van een snelle afvoer van het water als in de richting van een zo lang mogelijk vasthouden van het water voor gebruik in de zomer. Het zal een diepgaande studie vereisen om de omstandigheden steeds zo te kunnen treffen, dat tot een zekere diepte van het grondwater de voorwaarden gunstig zijn voor een snelle afvoer, terwijl bij een nog lagere stand de voorwaarden juist een traag afvloeien bewerken. Mogelijk moet een dergelijk nauwkeurig inspelen van de hydrologische vormgeving op de landbouwkundige eisen echter zeker geacht worden.

3. De betekenis van de afvoergegevens

De afvoer van een beek is het overschot van de regen, dat niet verdampte en niet ondergronds afvloeide. Terwijl in de zomer de verdamping de belangrijkste factor is, ongeacht de aard van het gebied, kan in de winter de terreinhelling en doorlatendheid van de ondergrond aan de afvoer door diepere aardlagen veruit de grootste waarde geven. De grote gedeelten van stroomgebieden zonder een ontwateringsstelsel bewijzen dit. De gemiddelde regenval in de winter zal omstreeks 2 mm per etmaal bedragen. Als gemiddelde afvoerwaarde is dus meer dan 0,25 l/sec/ha wegens de ondergrondse afvoer niet te verwachten. De waarnemingen tonen dan ook aan, dat de gemiddelde afvoeren in de bovenstroomse gebieden veel lager liggen en veelal 0,1 l/sec/ha niet overtreffen. Een gemiddelde winterafvoer krijgt in dit licht gezien een zeer belangrijke betekenis, omdat hieruit een indruk over de ondergrondse afvoer te verkrijgen is, een karakteristiek van een stroomgebied, die men op andere wijze zeer moeilijk benaderen kan en die ook geen ervaringsgegeven kan zijn. Deze afvoerwaarde kan ook voor de zomer als goede benadering dienen en de landbouwkundig zo belangrijke waterbalans voor de zomer helpen opstellen. Het lijkt niet ondenkbaar dat voor sommige werken de metingen nog meer gewaardeerd zullen worden als indicatie over de ondergrondse afvoer dan over de bovengrondse afvoer.

De huidige gang van zaken bij het berekenen van de afvoer is, dat men de bovenstroomse gebieden een maatgevende afvoer toeschrijft van 0,3 of 0,4 l/sec/ha en in de lage, meer vlakke delen van het afvoergebied, waar de diepe stromingen niet sterk zullen zijn, tot waarden van meestal omstreeks 0,8 à 1,0 l/sec/ha gaat. Deze getallen zullen wel empirisch zijn vastgesteld, en niet het resultaat zijn van een naar alle omstandigheden differentiërende studie. Zouden deze getallen wat hoog zijn gekozen om een zekerheidsmarge te hebben, dan zullen de iets te ruim bemeten leidingen de strekking hebben het water onnodig vlug tot afstroming te brengen

Daardoor zullen de lagere panden inderdaad ruimer moeten worden geprojecteerd dan bij een homogene opzet het geval zou zijn, waarbij van het bergend vermogen en de ondergrondse afvoer overal op gelijke wijze geprofiteerd wordt. De vermoedelijk in de richting van de afvoer gekozen zekerheid kan leiden tot een geringere zekerheid tegen verdroging. De zorgvuldig opgezette waterafvoerprojecten zullen naast de afvoergegevens en de ontwateringstoestand moeten worden opgebouwd op de gegevens van profielonderzoek tot grote diepte. Het goede gebruik van de debietmetingen zal een brede samenwerking met andere vakgebieden vereisen.

4. De waterstaatkundige doelstelling van de debietmetingen

Wanneer men waterstaatkundige objecten van een traditioneel karakter ontwerpt, zullen nieuwe gegevens, zoals de debietmetingen die leveren, maar in beperkte mate noodzakelijk zijn. Langs empirische wegen zal men de meest gewenste oplossing kunnen benaderen. Zou men echter menen, dat een dieper inzicht in de waterhuishouding en de kennis van de eisen van de gewassen tot principieel nieuwe grondslagen

voor de verbetering van stroomgebieden zullen moeten voeren, dan zou hier de afvoermeting vooral een taak hebben.

Men kan zich nu afvragen van welke aard de plannen zullen moeten zijn, welke op grond van een inzicht in de waterbalans de waterhuishouding van een stroomgebied zullen moeten regelen. Een bepaalde ontwikkeling ziet men zich thans reeds verwerkelijken, waarbij in het gewone afstroomsysteem met vele bewegelijke stuwen in de zomer het water wordt tegengehouden, terwijl 's winters een vlotte afvoer mogelijk blijft. Bij deze ontwerpen wordt nog weinig gebruik gemaakt van grondleggende gegevens. Men mag evenwel verwachten, dat deze op practisch inzicht steunende opzet slechts een tussentrap zal zijn. De grondslag voor een verbeteringsplan voor een stroomgebied ligt niet in de sfeer van het empirisch toegankelijke.

Men kan als toekomstige wijze van ontwerpen van een waterbeheersingsplan het volgende beeld schetsen. Voor een stroomgebied zal men voor elke gewassenkeuze en elk profieltype de meest gewenste ontwateringsdiepte opstellen. Daarna zal het mogelijk zijn een gemiddeld gewenst grondwaterstandsvlak aan te geven, waarvan men meent, dat het zich laat verwerkelijken. Het onderzoek, of dit watervlak zich laat verwerkelijken, behoeft nu de steun van het afvoeronderzoek.

Men kan de omstandigheden onderscheiden, waarbij het water grotendeels ondergronds en waar het grotendeels bovengronds afstroomt.

Dit is het criterium voor de wijze van regulering van de waterhuishouding. Waar de open leidingen het water grotendeels afvoeren, kan men het stroomgebied in polderafdelingen indelen, en op de grenzen van de afdelingen door stuwen de peilverschillen in stand houden. Bewegelijke, zich automatisch instellende stuwen kunnen dit peilverschil in stand houden en daarmede de peilbeheersing van een hel-

FIG. 9. Zich automatisch instellende stuw

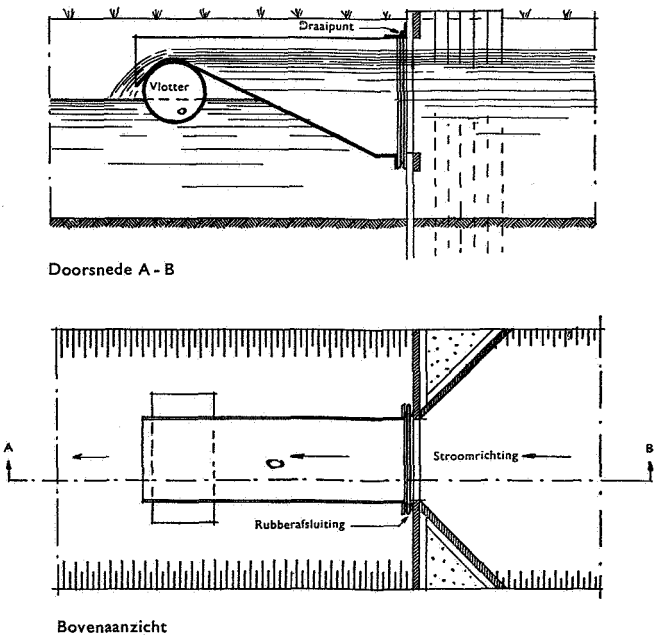


FIG. 9. *Automatic weir, maintaining a constant difference between the upper and the lower waterlevel*

FIG. 9. *Déversoir automatique maintenant une différence constante entre les niveaux d'eau les plus hauts et les plus bas*

lend gebied geheel gelijk maken aan die van een vlak poldergebied (figuur 9).

Waar de afvoer grotendeels ondergronds plaats heeft, kan men met waterconservatiemaatregelen of indeling in afdelingen met gelijk gewenst peil niets beginnen. Hier moet met wateraanvoer en een hellend grondwaterniveau gewerkt worden. In dit geval kan alleen via een dynamisch evenwicht een gunstiger toestand worden geschapen. In het eerste geval kunnen de beter bekende statische middelen van de polderverbetering te hulp worden geroepen. In gevallen, waar de afvoer langs beide wegen plaats vindt, zal men tot tussenoplossingen moeten komen.

Uit het voorgaande wordt weer een ander punt duidelijk, waarvoor de debietmetingen een grondslag kunnen leggen, en wel het geven van een overzicht van de verhouding van boven- en ondergrondse afvoer als indicatie van het systeem van waterbeheersing, dat men zal moeten toepassen. Dat men bij de opzet van de meting van de debieten met deze doelstelling rekening zal moeten houden, zal duidelijk zijn. Eveneens volgt hieruit, dat inzicht in de diepe stromingen door het bepalen van de hydrologische profielen tot grote diepte een uiterst waardevolle steun bij dit onderzoek zal zijn.

5. De noodzaak van algemene bekendheid van middelen en doel van de afvoermetingen

Het verrichten van waardevolle afvoermetingen verliest zijn zin, indien geen plannen van overeenkomstige wetenschappelijke verantwoordheid daarop worden gegrondvest. En ook deze zo verantwoorde plannen hebben geen zin, indien men de belanghebbenden er niet voor kan winnen. Speciaal voor dit laatste zal het nodig zijn naar een algemene erkenning van de grondslagen van de uiteindelijk uit te werken plannen te streven.

Het zal noodzakelijk zijn door voordrachten en propaganda bekendheid te geven aan de doelstellingen van het geheel van de beekverbetering, om op die wijze de toepassingsmogelijkheid te scheppen voor de debietmetingen.

Wanneer men er voor zou willen pleiten, dat de verschillende onderdelen van het waterbalansonderzoek op evenredige wijze moeten worden aangepakt, dan is het de vraag of voor de debietmetingen thans reeds een volwaardige toepassingsmogelijkheid zal blijken te bestaan. Daaruit mag niet worden geconcludeerd, dat een programma van afvoermetingen overbodig zou zijn, maar dat er een coördinatie en integratie van alle activiteiten op het gebied van de waterhuishouding, zowel van onderzoek, ontwerp, uitvoering als instandhouding, zal moeten ontstaan, waarbij men over en weer de problemen van de verschillende delen moet kennen en in het ontwerp verwerken. Het zal van belang zijn wegen te zoeken om deze kennis en samenwerking te doen ontstaan. Dit zal een belangrijk en onmisbaar aandeel vormen voor het slagen van de vele deelbeschouwingen waaruit de waterbeheersing bestaat. Daarvan vertegenwoordigt de afvoermeting een waardevol facet.

6. Eindbeschouwing

Van landbouwkundig standpunt bezien zal men de afvoermetingen in beken in hoofdzaak opvatten als een waardevolle bijdrage tot het leren kennen van de waterbalans van een gebied. Men zal veel waarde hechten aan het kennen van de afvoerfrequenties en de resultaten van de studies van de maatgevende afvoergolf. Maar deze gegevens zullen steeds gezien moeten worden in verband met de andere bijdragen tot de kennis van de waterbalans. Deze waterbalans zal zijn betekenis krijgen in het geheel van het waterbeheersingsonderzoek, waarbij de landbouwkundige grondslagen voor de waterbeheersing het uitgangspunt en de conceptie van het waterbeheersingsontwerp het doel van het onderzoek zal zijn.

De eisen, die het gewas aan de ontwatering stelt, zijn voldoende bekend. Over de vorm, die het waterbeheersingsontwerp in de toekomst zal aannemen, is de uitwisseling van meningen nog niet ver gevorderd. De hier te lande beschikbare tropische ervaring over wateraanvoer b.v. werd als uitgangspunt voor Nederlandse plannen nog niet in het openbaar ter discussie gesteld. Het onderzoek naar de waterbalans, dat de kloof tussen aan- en afvoer moet overbruggen, begint zijn vorm te vinden, zij het dat deze vorm thans misschien nog wel wat versnipperd lijkt. Het aantal instituten, diensten, commissies en werkgroepen, waar een deel van dit onderzoek is ondergebracht, is groot. Aan regenval, verdamping, vochthoudendheidsstudies, alsmede onderzoek naar de bovengrondse en ondergrondse waterafvoer wordt op velerlei plaatsen gewerkt. Dat hierdoor een grote hoeveelheid onderling onafhankelijke denkkracht wordt gemobiliseerd, is ongetwijfeld een voordeel, maar men zal ook tot een gezamenlijke conclusie moeten komen.

In dit geheel zal het afvoeronderzoek twee taken te vervullen hebben. De eenmaaldaagse meting zal tot doel hebben voor een groot aantal stroomgebieden een practisch gegeven te verzamelen. De lange duur van dit onderzoek zal maken, dat dit werk zich meer op een toekomstig gebruik dan op studie zal richten. Opnamen op vele plaatsen met wellicht minder grote veelvuldigheid zullen belangrijker zijn dan veelvuldige waarneming op een minder groot aantal plaatsen.

De zelfregistrerende meter zal waarnemingen verzamelen, die veel meer een onderzoekingsdoel zullen hebben. Men zal met een gering aantal gegevens toe kunnen, maar zal deze graag willen doen steunen door vele nevenwaarnemingen uit andere vakgebieden. Deze metingen zullen veel minder lang gecontinueerd worden en zich beter lenen tot grondslag voor direct gebruik voor ontwerp van verbeteringsplannen. De aandacht, aan dit deel van de afvoermetingen gegeven, zal een geheel andere vorm en een andere organisatorische achtergrond behoeven.

Het inpassen van de afvoermetingen in het geheel van de waterbeheersingsdoelstellingen zal het nodig maken een zo omvangrijk terrein te bestrijken, dat het werk de sfeer van activiteit van een aantal instituten zal moeten omvatten. Er is op dit gebied van cultuurtechnisch onderzoek voor een overkoepelende instantie een waardevol werkgebied, door het onderzoek te helpen richting en samenhang te vinden. Het zal van groot belang zijn, dat de taak van coördinatie breed wordt gezien en aan het geheel van werkzaamheden voldoende krachtige leiding kan worden gegeven.

Het gehele gebied van de waterhuishouding is de laatste jaren in beweging gekomen. In de komende jaren zal op dit punt ongetwijfeld een verdiept inzicht tot stand komen als resultaat van veler werk. In dit geheel zal men de betekenis van de systematische afvoermetingen moeten zien. En speciaal ook in deze onderlinge samenhang is het verheugend, dat het bepalen van de debieten van beken thans fors wordt aangepakt.

DISCUSSIE

Prof. Ir W. F. EIJSVOOGEL:

1. De gedachten om het water door laterale kanalen boven in het stroomgebied te laten infiltreren, is baanbrekend. In de practijk zal deze methode echter dikwijls zeer kostbaar zijn.
2. Heeft niet de eendaagse waarneming van waterstanden (en dus debieten) betrekkelijk weinig waarde voor de landbouw? Na het verbeteren van de beek hebben vroegere waarnemingen geen waarde meer. De waterstanden treden daar min of meer automatisch op (automatisch werkende stuwen).

ANTWOORD:

1. Nederland beschikt in de oude Indische ervaring over een reservoir van kennis, dat, gecombineerd met de inzichten hier te lande verworven, een uiterst waardevolle basis voor waterbeheersing en inrichting van stroomgebieden kan vormen. Juist de hoge kosten van fundamenteel opgezette waterregelingsplannen accentueren de noodzaak van de versmelting van de kennis omtrent irrigatie- en afvoersystemen tot een nieuw geheel, aangepast aan de nieuwe doelstellingen.
2. Men moet onderscheiden de toevalsverdeling van de afvloeiende debieten naast de vervlakking van de afvoer-golf als gevolg van vertraagde afstroming. De toevalsverdeling kan ontstaan door lang genoeg volgehouden debietmetingen met willekeurig te kiezen intervallen. De afvlakking van de afvoer-golf eist een reeks waarnemingen gedurende de enkele dagen van afstroming. Hier geeft een registrerende opname het diepste inzicht.
   Beide soorten gegevens zijn nodig. Het eerste type zal de afvoer beheersen door sloot- en kunstwerk-dimensies vast te leggen, het tweede type zal inzicht geven in vragen van vasthouden en opzamelen van water, noodzaak van stuwen, gebruik van bergingsmogelijkheid enz. De landbouw vraagt om beide, maar de gegevens over de afvoer-golf zullen zeer spoedig te leveren zijn en verdienen daarom directe aandacht.

Ir J. H. M. LATOUR:

1. Sommige gebieden, b.v. dat van de Berkel, hebben een hoge afvoercoëfficiënt als gevolg van de aanwezigheid van afsluitende lagen op geringe diepte in de ondergrond, waardoor de berging gering is.
2. Spreker ziet als taak voor de Unie van Waterschapbonden de waterschappen te wijzen op het nut van de bouw van kunstwerken tot waterbeheersing, die zodanig ontworpen zijn, dat het debiet er van steeds bekend is.

Tiende Technische Bijeenkomst

op 20 Januari 1954

IV. GEO-ELECTRISCH BODEMONDERZOEK

I. OPENING

P. BRUIN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

Wegens verhindering van de Voorzitter om des morgens aanwezig te zijn, opent Drs BRUIN *de bijeenkomst en heet de aanwezigen welkom. In het bijzonder begroet hij Dr* F. HALLENBACH *van het Amt für Bodenforschung te Hannover en dankt hem voor zijn bereidheid om naar Nederland te komen en te spreken over de ervaringen in Duitsland op het gebied van geo-electrisch onderzoek.*

Vervolgens herdenkt spreker Dr S. B. HOOGHOUDT, *die in 1953 de Commissie is ontvallen.*

Spreker licht hierna toe, hoe men tot het houden van deze bijeenkomst over geo-electrisch onderzoek is gekomen.

Op aanraden van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening ving de Dienst der Zuiderzeewerken in 1951 aan met het verrichten van geo-electrische metingen in het IJsselmeer ter verkrijging van gegevens ten behoeve van de toekomstige inpolderingen. In 1952 werd door vertegenwoordigers van de Geologische Dienst, het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de Dienst der Zuiderzeewerken een bezoek gebracht aan het Amt für Bodenforschung te Hannover, waarna door genoemde diensten een interne nota met voorstellen tot ontwikkeling van het geo-electrisch onderzoek in Nederland werd uitgebracht. Deze nota werd besproken in het Kleine Comité, naar aanleiding waarvan dit laatste besloot het desbetreffende onderwerp op een Technische Bijeenkomst te laten behandelen ten einde de belangstelling hiervoor te peilen.

Spreker geeft vervolgens het woord aan de leider van de bijeenkomst, Ir A. VOLKER.

II. INLEIDING

A. VOLKER

Dienst der Zuiderzeewerken, 's-Gravenhage

Deze 10e Technische Bijeenkomst neemt in de reeks vergaderingen van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. een bijzondere en tevens bescheiden plaats in, daar we ons heden niet zullen bezig houden met een toepassing uit de hydrologie, maar met de bespreking van één der hulpmiddelen bij het onderzoek.

Ik meen, dat er alle reden bestaat zich eens te bezinnen over de hulpmiddelen, welke bij de aanvang van elk hydrologisch onderzoek in het terrein gebracht worden. Het valt immers op, dat er in de loop der jaren slechts weinig verandering is gekomen in het instrumentarium, waarvan de hydroloog zich bedient. Voor zover bij het grondonderzoek in de civiele en landbouwkundige techniek nieuwe methoden zijn ingevoerd, is dit niet aan de hydrologen maar aan de beoefenaars van een betrekkelijk jonge tak van toegepaste wetenschap — de grondmechanica — te danken.

Voor de hydroloog bestaat het voornaamste hulpmiddel nog steeds uit het uitvoeren van boringen volgens de pulsmethode, een methode welke reeds vele eeuwen vóór het begin der Christelijke jaartelling met succes door de Chinezen werd toegepast. Kort na 1850 ging men er toe over filters met stijgbuizen in boorgaten te plaatsen, waardoor het mogelijk werd de stijghoogte van het grondwater nauwkeurig te meten en watermonsters te ontlenen, waarmede de chemische samenstelling van het grondwater kon worden bepaald. Overigens betrof dit meer een verbetering dan een principiële wijziging van de toegepaste onderzoekingsmethode.

Het feit, dat de methode der pulsboringen reeds enige duizenden jaren oud is, behoeft geen aanleiding te zijn deze zonder meer te verwerpen. Inderdaad bieden boringen volgens dit procédé karakteristieke mogelijkheden van zodanige aard, dat men kan verwachten, dat deze methode van grondonderzoek zich nog lange tijd zal handhaven.

Anderzijds zal men zeker er naar moeten blijven streven het beproefde instrumentarium van de hydrologie nog uit te breiden, temeer daar men op aanverwant gebied, nl. in de geologie en in het bijzonder bij het opsporen van delfstoffen, wel degelijk een snelle ontwikkeling van de toegepaste hulpmiddelen kan constateren. Ik doel hierbij op de geophysica, waarbij kennis van de ondergrond wordt verkregen door bepaling van physische eigenschappen, veelal door metingen aan de oppervlakte. De geophysica heeft zich vooral in de laatste tientallen jaren ontwikkeld tot een onmisbaar hulpmiddel bij het grondonderzoek en de vraag moet dus gesteld worden of de methoden der geophysica ook bij het hydrologisch onderzoek in het algemeen en bij het desbetreffende onderzoek in Nederland in het bijzonder van practisch nut kunnen zijn.

Voor de Fransen, Japanners, Duitsers en Amerikanen is het eerste deel van deze vraag reeds enige tijd geleden in positieve zin beantwoord. Ik hoop, dat U aan het einde van deze dag met mij zult instemmen, dat geophysische opsporingsmethoden ook bij het hydrologisch onderzoek in Nederland van grote betekenis kunnen worden.

In de geophysica kunnen verschillende natuurkundige eigenschappen van de ondergrond benut worden om een inzicht te krijgen in de geotechnische opbouw en al naar de doelstelling van het onderzoek gaat men af op magnetische of electrische eigenschappen of op dichtheid en massaverdeling der lagen of op de voortplantingssnelheid van kunstmatig opgewekte trillingen. Voor het onderzoek in de hydrologie bieden de methoden, berustende op de electrische eigenschappen, de meeste vooruitzichten.

Nu heeft de geophysica niet geheel ten onrechte de reputatie gekregen een voor buitenstaanders moeilijk toegankelijk werkgebied te vormen. Om het geophysisch opsporingswerk hangt een waas van geheimzinnigheid, vooral omdat de maatschappijen, welke zich opsporen van delfstoffen ten doel stellen, om begrijpelijke redenen weinig genegen zijn tot publicatie van de door hen bereikte resultaten en de geheimhouding veelal ook uitstrekken tot de methoden van het onderzoek zelf. Dat dit een rem vormt op de ontwikkeling van het vak, spreekt vanzelf. Anderzijds kan worden geconstateerd, dat veel van hetgeen op geophysisch gebied is gepubliceerd, de toets der critiek niet kan doorstaan en het zijn — helaas — veelal civiel-ingenieurs, die de mathematisch-physische basis van de methode uit het oog verliezen.

Inderdaad komt men bij de interpretatie van geophysische gegevens meestal voor gecompliceerde wiskundige problemen te staan en — waar een exacte oplossing niet steeds mogelijk is — ligt de weg naar onvoldoend gefundeerde conclusies open.

Een andere moeilijkheid wordt gevormd door de apparatuur: bij elk der geophysische meetmethoden gaat het steeds om het nauwkeurig meten van een zeer kleine grootheid, waarvoor veelal uiterst gevoelige en delicate instrumenten nodig zijn. Hulp van een specialist op dit gebied kan niet worden gemist.

Bij de interpretatie der gegevens is behalve kennis van de wiskundige basis ook kennis van de geologische en hydrologische gesteldheid van het onderzochte terrein noodzakelijk.

Ondanks deze moeilijkheden heeft de geophysica een bijzondere bekoring: in het opsporen door tasten aan de oppervlakte van hetgeen in de ondergrond verborgen ligt, schuilt iets fascinerends; de geophysische methoden zijn elegant, snel en veelal weinig kostbaar.

Van belang is, dat een goed resultaat alleen door samenwerking van specialisten bereikt kan worden. Dit komt ook uit in de organisatie van deze dag, waarop sprekers met zeer verschillende werkkring het woord zullen voeren.

Allereerst zal Dr B. BAARS U de beginselen en mogelijkheden van de geo-electrische methode uiteenzetten. Dr BAARS is verbonden aan de geophysische afdeling van de N.V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij. Het verheugt mij niet alleen, dat hij bereid gevonden is ons vandaag voor te lichten, maar ook dat hij het geoelectrische onderzoek, dat momenteel bij de Dienst der Zuiderzeewerken in uitvoering is, met zijn deskundig advies en zijn belangstelling heeft willen en kunnen steunen.

Na de pauze zal Dr HALLENBACH van het Amt für Bodenforschung te Hannover spreken over de jongste resultaten, welke met het geo-electrisch onderzoek ten be-

hoeve van hydrologische problemen in West-Duitsland bereikt zijn. Wij erkennen gaarne, dat het werk van zijn instituut een goed voorbeeld vormt van hetgeen op het terrein, dat ons aller belangstelling heeft, bereikt kan worden. Ook Dr HALLENBACH heeft zijn steun verleend aan het onderzoek van de Dienst der Zuiderzeewerken en met grote bereidwilligheid en openhartigheid geadviseerd over het instrumentarium.

Dat toepassing van de geo-electrische methode ook bij hydrologische problemen in Nederland van grote betekenis kan zijn, zal blijken uit de voordracht van Ir E. O. HOUTSMA van de waterloopkundige afdeling der Zuiderzeewerken. Bij de inpolderingswerken in het IJsselmeer bleek het nodig een inzicht te krijgen in de chemische samenstelling van het grondwater tot een diepte van enige honderden meters. Natuurlijk is het mogelijk hierbij pulsboringen met filterstellingen toe te passen, maar gezien de grote variatie in deze samenstelling van plaats tot plaats, zou deze wijze van werken tot zeer hoge kosten leiden. Door metingen volgens de geo-electrische methode kan het gestelde doel veel sneller en goedkoper worden bereikt.

Dat hiermede de mogelijkheden voor toepassing van deze methode in Nederland geenszins zijn uitgeput, moge blijken uit de voordracht van Ir J. H. BELTMAN, hydroloog bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, die een inventarisatie heeft gemaakt van geologische en hydrologische objecten in Nederland, waarover nog te weinig bekend is en waarvoor toepassing van de geo-electrische methode in aanmerking komt.

Ik hoop, dat kennisneming van deze voordrachten ons de weg kan doen vinden om bij de oplossing van hydrologische problemen in Nederland in meerdere mate dan tot dusver het geval is geweest gebruik te maken van de methoden der moderne geophysica.

III. BEGINSELEN EN MOGELIJKHEDEN VAN DE WEERSTANDSMETHODE

B. BAARS

De Bataafsche Petroleum Maatschappij N.V. (Kon. Shell groep), 's-Gravenhage

De geo-electrische methode heeft ten doel door oppervlaktemetingen verdere gegevens betreffende de aardkorst te verkrijgen. Dit blijkt mogelijk door de variaties, die bestaan in de weerstand van de verschillende gesteenten, waaruit deze is opgebouwd.

Voor kristallijne gesteenten varieert deze weerstand van 10^4 tot 10^8 Ohmcm; voor de sedimenten vinden wij weerstanden, die variëren van vrij laag (10^1 Ohmcm) tot vrij hoog (10^6 Ohmcm).

Over de oorzaak van de weerstandsvariatie in sedimenten kan de volgende toelichting gegeven worden. Wanneer wij een bak hebben, waarin zich een electrolyt bevindt, dan zal deze electrolyt een zekere weerstand hebben. Doen wij nu in deze bak met vloeistof mineraalkorrels (kwarts of zand), waarvan wij kunnen aannemen dat deze volkomen isolerend zijn, dan is de weerstand toegenomen. Wij hebben in zo'n geval te maken met twee stoffen, nl. de geleidingsstof en de isolator, evenals bij een sediment. De porositeit van een sediment is dus in de eerste plaats maatgevend voor de weerstand van het sediment. Wij zien in fig. 1, hoe de weerstand van het sediment afhankelijk is van de porositeit en hierbij is verondersteld, dat alle andere factoren gelijk blijven. Als de porositeit groot is, krijgt men een lage weerstand en zodra de porositeit afneemt, neemt de weerstand toe. Men kan de korrels echter op verschillende manieren in de bak brengen en daaruit volgt, dat de pakking van de korrels ook van invloed is op de weerstand. Een ander punt, dat hierbij naar voren komt, is de kwestie in hoeverre de poriën bij een sediment met vloeistof gevuld zijn. Als zij bijna niet gevuld zijn, hebben wij te maken met de zuivere mineralen als kwarts- of zandkorrels en dan zal de weerstand zeer hoog zijn. Wij kunnen echter aannemen, dat de poriën geheel gevuld zijn en dan hangt het er van af, welke stoffen in die poriën-vloeistof zijn opgelost. De electrolyt kan dientengevolge goed of slecht geleidend zijn.

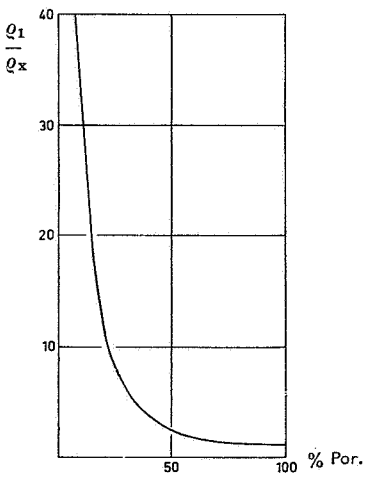


FIG. 1. Betrekking tussen de porositeit en de weerstand (ϱ_x) van sedimenten. De weerstand van de poriënvloeistof (ϱ_1) is constant. (Volgens SUNDBERG)

Dit alles maakt, dat er vrij grote verschillen in de weerstand kunnen optreden en wij zullen nagaan, wat wij daarmede kunnen doen en wat wij kunnen bereiken.

Zoals wij hebben gezien, hebben wij met ionengeleiding te maken, wanneer een electrische stroom door een sediment gaat.

In de eerste plaats blijkt dan, dat als wij de weerstand R noemen, deze afhankelijk is van de stof waarvan wij de weerstand willen bepalen en evenals bij metalen geleiders is de weerstand dan recht evenredig met de lengte l. Bovendien is de weerstand omgekeerd evenredig met de doorsnede s, dus ook precies als bij metalen. Er komt dan nog een factor bij, de specifieke weerstand, die wij ϱ noemen.

$$R = \varrho \frac{l}{s} \quad (1)$$

Wanneer wij deze formule als volgt schrijven:

$$\varrho = R \frac{s}{l} \quad (2)$$

dan zien wij dat ϱ wordt uitgedrukt in Ohm maal centimeter en niet in Ohm/cm, zoals nog vaak foutief gebeurt.

Men kan de electrische methoden in verschillende categorieën indelen. Wij zullen hier een indeling geven, die vrij gebruikelijk is en de methoden in twee delen splitsen: het gebruik van de natuurlijke aardstromen en het gebruik van kunstmatige stromen. Het blijkt namelijk dat, wanneer men polen in de aarde zet, er een spanningsverschil gemeten kan worden, zonder dat er een stroom doorgevoerd wordt. Men gebruikt dit verschijnsel in sommige gevallen bij het opsporen van mineraalertsen.

Men heeft bij deze natuurlijke aardstromen ook gebruik gemaakt van spanningsfluctuaties, die kennelijk hun oorzaak vinden buiten de vaste aarde. Bij deze methode (de tellurische methode) gebruikt men periodes, die in de buurt van een halve tot een hele minuut liggen.

Bij een kunstmatige stromen gaat men een stroom van zekere sterkte door de aarde voeren. Dat kan men weer op twee manieren doen: men kan gelijkstroom en wisselstroom gebruiken. Wij zullen ons hier verder beperken tot de gelijkstroom, doch één opmerking maken over het gebruik van wisselstroom. Zoals waarschijnlijk bekend is, treedt bij het gebruik van wisselstroom het skin-effect op. Als wij een metalen draad nemen en daardoor een hoogfrequente wisselstroom zenden, dan neemt de weerstand toe, doordat het magnetische veld de stroomlijnen naar de buitenkant van de draad dringt. Ook in de aarde is het zó, dat bij het gebruik van wisselstroom de stroomlijnen dichter bij het oppervlak komen te liggen dan bij het gebruik van gelijkstroom.

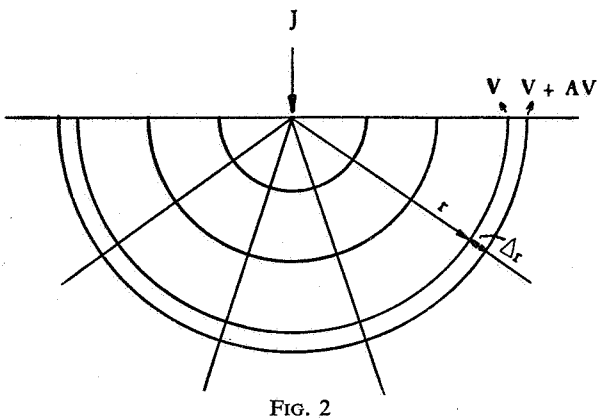


FIG. 2

Wij beschouwen nu een oneindige halfruimte, waarvan fig. 2 een doorsnede is, en brengen in een punt aan het

oppervlak van die halfruimte een pool aan, waardoor een stroom I in de aarde loopt. De stroomlijnen zullen dan in radiale richting uitgaan van het punt, waar de pool geplaatst is. De equipotentiaalvlakken zijn halve bollen, die hun middelpunt in de poolpunt hebben.

Wij kunnen nu ook in het oppervlak de equipotentiaallijnen tekenen, die in het homogene geval cirkels worden. Men kan hiervan ook gebruik maken in het niet-homogene geval, want dan zijn het geen cirkels meer en komen er uitbochtingen. Als het dus een homogeen geval was, zou men cirkels moeten opmeten. Als nu blijkt, dat er afwijkingen van de cirkelvorm komen, dan volgt hieruit dat er geen homogeniteit is.

Dit is een vrij omslachtige methode, die betrekkelijk weinig leert over de ondergrond. Wij zullen hier niet langer bij blijven stilstaan, doch direct overgaan tot de weerstandsmethode.

Wij willen nu eerst het spanningsverloop bepalen op het oppervlak (fig. 2). Daartoe passen wij de wet van Ohm, die ook voor een ionengeleider geldt, toe op een bolschil, bepaald door de stralen r en $r + \triangle r$:

$$\triangle V = -I \triangle R \quad (3)$$

$\triangle V$ = potentiaalverschil tussen de 2 bollen, die de bolschil vormen
$\triangle R$ = weerstand van de bolschil.

Wij kunnen $\triangle R$ uitrekenen volgens formule (1). Het oppervlak is dat van een halve bol: $2 \pi r^2$ en de lengte is $\triangle r$.

$$\triangle R = \varrho \frac{\triangle r}{2 \pi r^2}$$

$$\triangle V = - \frac{\varrho I}{2 \pi r^2} \triangle r$$

Hieruit volgt door integreren:

$$V = \frac{\varrho I}{2 \pi} \frac{1}{r} \quad (4)$$

Wij gaan een uitbreiding hieraan geven.

Men heeft nu op het aardoppervlak een pool met een stroom I, en een tweede pool met een stroom — I, een stroom dus in omgekeerde richting. Er komt dus een potentiaalverval (fig. 3); wanneer wij nu tussen de beide polen een willekeurig punt nemen en wij passen daarop de boven gegeven formule (4) toe voor elk van de polen, dan kunnen wij beide potentialen optellen om te komen tot de potentiaal op het gegeven punt.

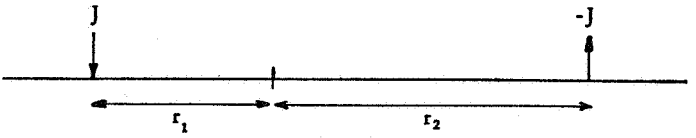


FIG. 3

$$V = \frac{\varrho I}{2 \pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (5)$$

Fig. 4 toont het beeld van de equipotentiaallijnen in het geval van twee polen. De rechte lijn tussen de polen is ook een equipotentiaal, die ook in de verticale doorsnede op de bovenste helft van het plaatje te zien is. Ook de spanningsgradiënt is aangegeven: die neemt van de pool, waar de stroom ingevoerd wordt, langzaam af, doch neemt naar de andere pool weer toe. Er is een gedeelte, waar het spanningsverloop vrijwel lineair is. Dit is een belangrijk punt in dit geheel, omdat men hier een gebied heeft, waar men zeer eenvoudig meten kan.

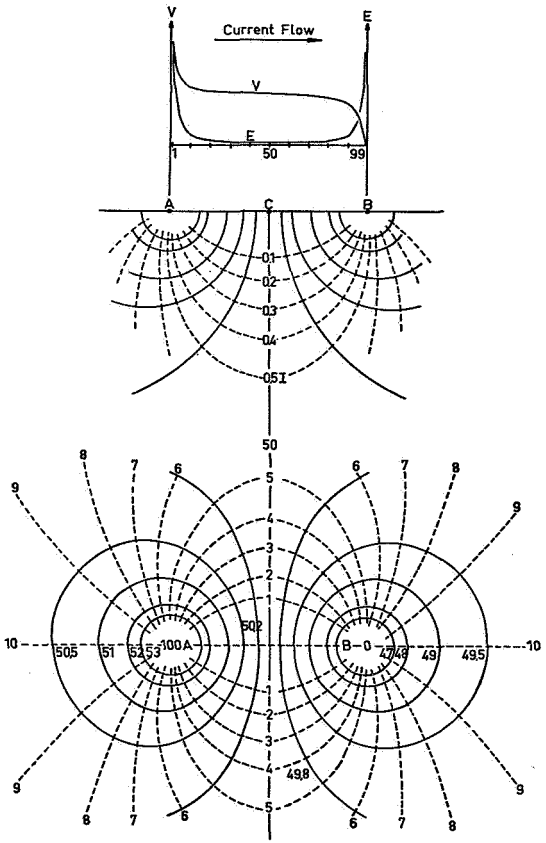


FIG. 4. Verdeling ven de potentiaal- en stroomlijnen in het verticale en horizontale vlak door de beide polen (gedeeltelijk volgens SCHLUMBERGER)

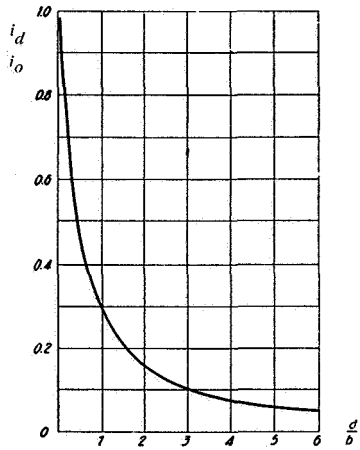


FIG. 5. Gedeelte van de stroom dat doordringt tot een grotere diepte dan d, als functie van de verhouding tussen de diepte en de afstand b van de stroompolen. (Volgens KNAEBEL).

Fig. 5 geeft aan, hoe de stroomdichtheid in het vlak precies tussen de twee stroompolen verloopt. Vlak aan het oppervlak is deze het grootste en naar de diepte toe neemt de stroomdichtheid af, in het begin snel, later langzamer. Ook dit is een belangrijk punt, want hieruit volgt, dat van twee stroomlijnen, waarvan de een aan de oppervlakte blijft en de ander in de diepte gaat, de grootste invloed op de potentiaal komt van de dichtst bij de oppervlakte zijnde stroomlijn. Wanneer wij een potentiaalmeting doen, is de potentiaal bepaald door een sommatie-effect van de invloed van de weerstand op de stroomlijnen, die telkens een kleinere stroomdichtheid krijgen.

Wat gebeurt er, wanneer de afstand tussen de stroompolen anders gekozen wordt. Het enige wat er gebeurt is een lineaire vergroting evenredig met de vergroting van de afstand tussen de stroompolen. Men krijgt nu de z.g. methode-Wenner, wanneer men tussen de twee stroompolen andere polen gaat zetten en daar het spanningsverschil V gaat meten. Men plaatst deze polen zó, dat men zoveel mogelijk in het lineair veranderlijke gedeelte van het spanningsveld blijft. In de methode-Wenner verdeelt men de afstand tussen de stroompolen in drie gelijke delen a en meet de spanning V tussen de beide binnenste punten (fig. 6).

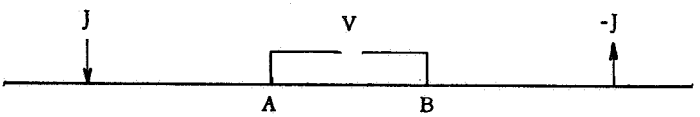


FIG. 6. Opstelling van de electroden volgens WENNER

Voor de potentiaal krijgen wij nu een zeer eenvoudige uitdrukking. De potentiaal in A en B wordt bepaald met formule (5) waarbij $r_1 = a$ en $r_2 = 2a$ voor A en $r_1 = 2a$ en $r_2 = a$ voor B:

$$V_A = \frac{\varrho\, I}{2\pi}\,\frac{1}{2a},\quad V_B = -\,\frac{\varrho\, I}{2\pi}\,\frac{1}{2a},$$

zodat het potentiaalverschil tussen A en B is:

$$V = V_A - V_B = \frac{\varrho\, I}{2\pi}\,\frac{1}{a} \quad (6)$$

$$\varrho = 2\,\pi\, a\,\frac{V}{I} \quad (7)$$

Wanneer wij door de buitenste stroompolen een bekende stroom I voeren, de spanning V meten aan de twee binnenste polen en a opmeten, krijgen wij de specifieke weerstand ϱ met behulp van (7).

Tot nu toe hebben wij het steeds gehad over een homogene aarde. Als de aarde niet meer homogeen is, gaat men enigszins anders te werk, doch men gebruikt precies dezelfde formule. Alleen kan dan niet meer gezegd worden, dat de gevonden ϱ de werkelijke specifieke weerstand is. Men heeft nu ingevoerd de ϱ_a, de schijnbare specifieke weerstand bepaald door de formule

$$\varrho_a = 2\,\pi\, a\,\frac{V}{I} \quad (8)$$

De vraag is thans, hoe men nu de werkelijke specifieke weerstand daaruit kan vinden.

Wij zullen nu het z.g. twee-lagenprobleem bespreken (fig. 7a). Wij nemen een bovenlaag met een specifieke weerstand ϱ_1 en daaronder een tweede laag tot oneindig met een specifieke weerstand ϱ_2. Als wij de stroompolen op zeer korte afstand van elkaar zetten ten opzichte van de dikte van de bovenlaag, dan zullen de stroomlijnen vrijwel allemaal door deze laag lopen. Uit de kromme, die de stroomdichtheid aangaf, hebben wij gezien, dat de stroomdichtheid vanaf het oppervlak naar de diepte sterk

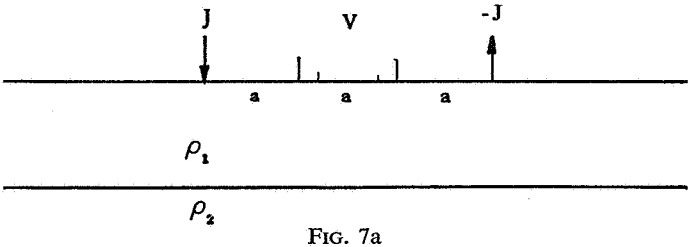


FIG. 7a

afneemt en daaruit volgt, dat de hoeveelheid stroom, die in de tweede laag terecht zal komen, zeer klein is. Deze is zelfs verwaarloosbaar klein te maken als de afstand van de stroompolen maar klein genoeg gemaakt wordt. Het resultaat is dus, dat de ϱ_a, die nu volgt uit (8), practisch gelijk is aan de werkelijke specifieke weerstand van de bovenste laag.

Wanneer nu de stroompolen ver uit elkaar gezet worden, krijgen wij een tekening zoals in fig. 7b. De bovenlaag is nu dun ten opzichte van de afstand van de stroompolen. Slechts een zeer klein gedeelte van de stroomlijnen gaat uitsluitend door de bovenste laag, maar bijna alle stroomlijnen gaan door de tweede laag. Als wij dus de stroompolen maar ver genoeg uit elkaar zetten ten opzichte van de dikte van de bovenste laag, zullen wij met behulp van (8) in feite ϱ_2 bepalen.

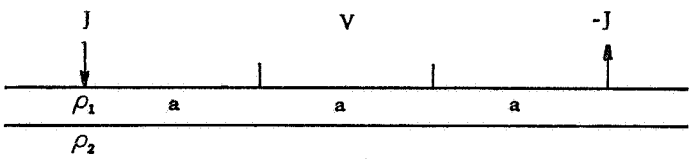


FIG. 7b

In de practijk komt het er op neer, dat men het volgende doet. Men bepaalt de ϱ_a voor verschillende afstanden a en zet deze in een grafiek uit tegen de afstand a.

Wanneer wij dus het twee-lagenprobleem bekijken met $\varrho_1 > \varrho_2$, dan vinden wij voor een afstand a zeer klein ten opzichte van de dikte van de bovenlaag een $\varrho_a = \varrho_1$ en door de afstand a groter en groter te maken vinden wij een $\varrho_a = \varrho_2$, zoals fig. 8 laat zien.

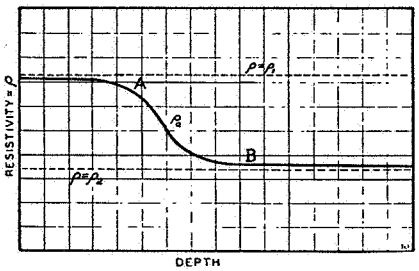


FIG. 8. Schematische voorstelling van de schijnbare specifieke weerstand ϱ_a voor twee lagen

Fig. 9 geeft aan hoe de stroomlijnen lopen als de geleidbaarheid van de tweede laag veel groter is dan die van de eerste. De stroomlijnen worden als het ware naar de tweede laag toegetrokken en daardoor zullen de equipotentiaallijnen sterk hun invloed doen gelden op de bovenste stroomlijnen, dus ook op het te meten potentiaalverschil.

Men wil echter nog meer weten en men kan ook nog iets over de diepte te weten komen. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van de theorie van de spiegelpunten, die wij zullen toelichten aan het geval van een lading e geplaatst in een ruimte A met een specifieke weerstand ϱ_1 en gescheiden van een ruimte B met een specifieke weerstand ϱ_2 door een oneindig plat vlak (fig. 10). Aangetoond kan worden, dat het potentiaal-

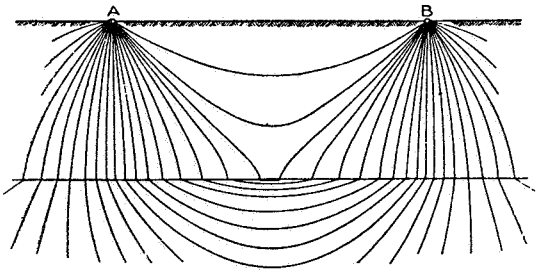


FIG. 9. Verloop van de stroomlijnen bij een twee lagenprobleem, waarbij de 2° laag een 50 × grotere geleidbaarheid heeft dan de eerste laag. (Volgens W. WEAVER).

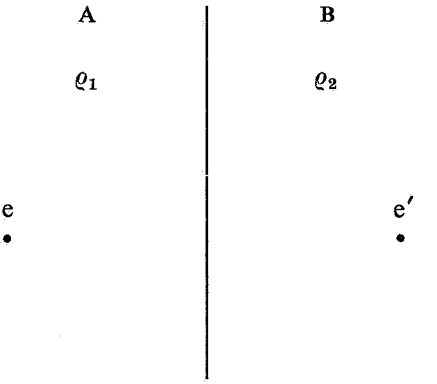


FIG. 10

veld in de ruimte A bepaald wordt door de lading e en een (veronderstelde) lading e′ in het spiegelpunt van e ten opzichte van het scheidingsvlak. Uit de voorwaarden aan het scheidingsvlak kan men e′ bepalen:

$$e' = k\,e \qquad k = \frac{\varrho_2 - \varrho_1}{\varrho_2 + \varrho_1}$$

k heet wel contrastfactor.

Gaan wij dit toepassen op een twee-lagenprobleem, dan hebben wij met 3 lagen te maken: lucht en twee aardlagen die door twee evenwijdige vlakken gescheiden worden. Een stroompool is als het ware een lading in het ene vlak, dat gespiegeld wordt in het andere vlak: dit spiegelpunt wordt weer gespiegeld in het 1e vlak enz. Wij krijgen in dit geval een oneindig aantal spiegelpunten, waaruit de potentiaal berekend kan worden als een sommatie-effect van de werking van al deze punten. Wanneer men dit doet, kan men de spanning V uitrekenen tussen de middelste electroden van een Wenner-opstelling, waarbij tussen de 4 electroden een gelijke afstand a bestaat en via de beide buitenste electroden een stroom I door de grond gestuurd wordt.

$$V = \frac{\varrho_1 I}{2\pi a}\left\{1 + 4\sum_{n=1}^{n=\infty} k^n \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (2\,n\frac{h}{a})^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + (2\,n\frac{h}{a})^2}}\right)\right\} =$$

$$= \frac{\varrho_1 I}{2\pi a}\left\{1 + 4F\right\} \quad (9)$$

ϱ_1 = specifieke weerstand bovenlaag
h = dikte bovenlaag
ϱ_2 = specifieke weerstand onderlaag
$k = \frac{\varrho_2 - \varrho_1}{\varrho_2 + \varrho_1}$ = contrastfactor.

Wij werken altijd met de schijnbare specifieke weerstand ϱ_a, bepaald volgens (8). Gaan wij (8) en (9) combineren, dan vinden wij:

$$\frac{\varrho_a}{\varrho_1} = 1 + 4\,F \qquad (10)$$

Wij kunnen de formules (9) en (10) gebruiken om theoretische krommen uit te rekenen van verschillende twee-lagenproblemen. Zulke krommen zien wij in fig. 11, waarbij op de X-as $\frac{h}{a}$ logarithmisch is uitgezet en op de Y-as $\frac{\varrho_a}{\varrho_1}$ eveneens logarithmisch. Omdat ϱ_1 en h constanten zijn in de formules, betekenen andere waarden voor h en ϱ_1 ten gevolge van de dubbel-logarithmische uitzetting alleen een verschuiving van de krommen in de richting van de X- resp. Y-as.

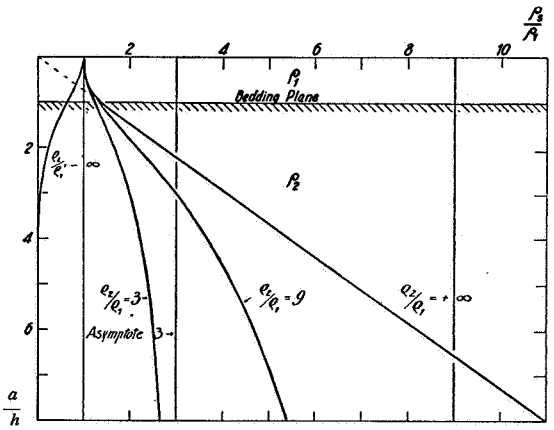


FIG. 11. De schijnbare specifieke weerstand ϱ_s als functie van de electrodenafstand a voor tweelagenproblemen met verschillende weerstandsverhoudingen ϱ_2/ϱ_1. (Volgens HUMMEL).

Wanneer wij voor een tweelagen geval de gemeten ϱ_a uitzetten tegen de afstand a op dubbel-logarithmisch papier, dan zal deze kromme moeten samenvallen met een theoretische kromme.

Wij hebben hier dus een methode om de specifieke weerstanden te bepalen van de eerste en tweede laag en de dikte van de eerste laag.

Wij kunnen ons afvragen of dat nu wel zo erg mooi uitkomt als wij een sterk geleidende bovenlaag hebben ten opzichte van een minder goed geleidende tweede laag. Ook in dat geval blijkt, dat wij de ϱ_1 goed kunnen bepalen door een kleine afstand te nemen en dat bij een grote afstand deze ϱ_1 practisch geen rol meer speelt. Men benadert dan de ϱ_2 zo dicht, dat men deze met voldoende nauwkeurigheid kan bepalen. Als men bovendien de gemeten kromme gaat passen en schuiven en vergelijken met de theoretische curve, dan kan men de ϱ_1 en de ϱ_2 gebruiken als de meeteenheid voor de dikte.

Men kan dit natuurlijk nog uitbreiden en men behoeft niet bij twee lagen te blijven, doch dan worden de theoretische berekeningen veel ingewikkelder. Men zou een heel stel krommen moeten maken en men zou die in de meeste gevallen moeten laten uitvoeren, omdat men er zelf niet toe komt.

Wij kunnen nu tussen de twee lagen een zeer dunne laag aanbrengen, die een specifieke weerstand heeft, verschillend van de beide andere. Zolang deze specifieke

weerstand niet dicht bij ∞ of 0 ligt, zal men bij de meting deze laag niet of nauwelijks kunnen waarnemen.

Er zijn dikwijls nog wel een paar moeilijkheden te overwinnen. Wij hebben aangenomen, dat de lagen homogeen waren, maar dat is lang niet altijd het geval. Wanneer de bovenlaag niet homogeen is, kan het soms vrij moeilijk zijn om de ϱ_1 te bepalen. Fig. 12 laat zien wat er gebeurt, wanneer men inhomogeniteiten heeft.

In de tweede plaats hebben wij over horizontale lagen gesproken, dus lagen, die geen helling hebben. Wanneer de tweede laag een helling heeft, dan is het natuurlijk niet meer zo eenvoudig en dan zal de theoretische kromme er ook anders uitzien.

Men kan dan een indruk van deze asymmetrie krijgen door midden tussen de meetpolen nog een meetpool te plaatsen. Als de laag horizontaal is, moeten wij dezelfde waarde krijgen voor de spanning tussen de middelste meetpool en de beide andere.

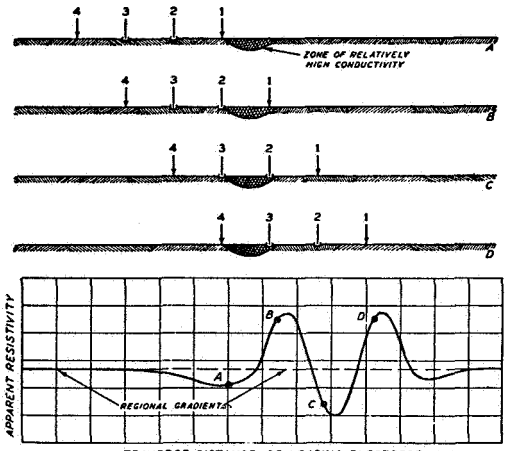


FIG. 12. Variaties in de weerstand tengevolge van een inhomogeniteit aan de oppervlakte

Bovendien moet niet vergeten worden, dat hier een scherpe afscheiding tussen de lagen is aangenomen. Vaak echter zal men een overgangslaag hebben, een laag van een zekere dikte, waarin de weerstand niet sprongsgewijs, maar langzamerhand verandert. Dat maakt de zaak ook weer moeilijker en gecompliceerder.

Er zijn nog een paar punten, waarop nog niet gewezen is. Er bestaan nog natuurlijke aardstromen en die meet men ook op de potentiaalpolen. Men moet trachten die te elimineren, of te compenseren. De potentialen van deze aardstromen zijn evenredig met de lengte. Als men de afstand a groot maakt, zal de te meten spanning aan de meetpolen klein worden. Wij zouden dan soms spanningen moeten meten, die misschien van dezelfde orde, of zelfs kleiner, gaan worden dan de spanning, die voor de natuurlijke aardstromen gemeten wordt.

Deze moeilijkheden maken, dat in het algemeen de nauwkeurigheid niet groter is dan ongeveer 10%.

Uit een gemeten kromme tracht men dus te bepalen een aantal laagdikten en een aantal ϱ's, maar dat zal nog wel eens moeilijkheden geven. In het bijzonder is dit het geval, wanneer wij met een 3- of meer lagenprobleem te maken hebben. Dan zullen verschillende theoretische krommen kunnen passen op één gemeten kromme. En als men nu een aantal ϱ's bepaald heeft, weet men vaak niet precies, wat deze betekenen. Wat voor laag is dat of is het een aantal lagen? Er kunnen zich dan nog vele vragen voordoen bij de interpretatie. In sommige gevallen kan men er meer

van zeggen, maar in de meeste gevallen is het wel wenselijk vooraf enige gegevens te hebben over de dikten en, als het kan, over de weerstanden, die men kan verwachten.

Wij hebben tot nu toe behandeld het werken met afstanden, die men steeds groter gaat maken. Men kan echter nog wat anders doen en werken met een constante afstand, waarbij men alle polen in dezelfde richting gaat verplaatsen. Hiermede heeft men een aantal proeven gedaan en fig. 13 geeft een afbeelding van een modelproef. Men heeft twee stroompolen en twee meetpolen en nu heeft men niet de polen verplaatst, maar de verticaal gehangen plaat van hoge weerstand. Wij zien hoe de schijnbare weerstand verandert. Wanneer de plaat dicht onder het oppervlak hangt, wordt de schijnbare weerstand vrij hoog op enkele plaatsen. Hangt de plaat dieper, dan wordt het minder markant. Men zou deze methode kunnen gebruiken om breuken in de lagen te vinden. Wanneer deze voorkomen, dan kunnen wij markante verschillen in de weerstand vinden. Aan de ene kant van de breuk vinden wij een schijnbare weerstand van een bepaalde waarde en na het passeren van de breuk vinden wij een andere waarde.

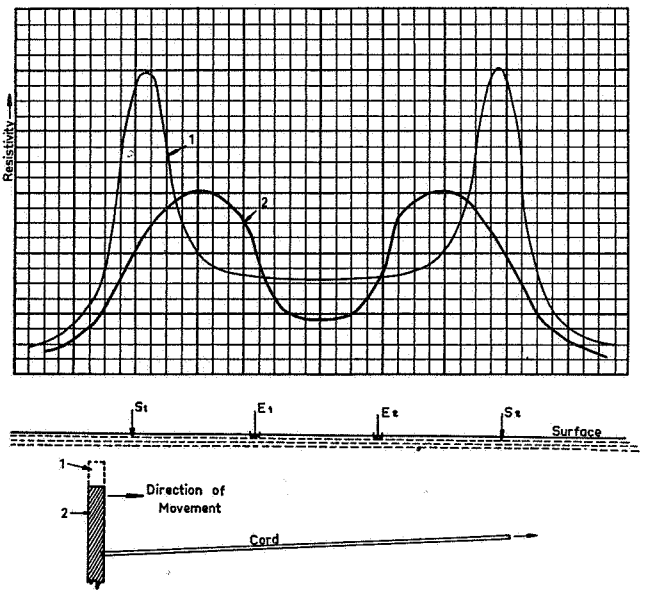


FIG. 13. Schema en resultaten van een modelproef voor de bepaling van weerstandsveranderingen veroorzaakt door inhomogeniteiten

Er is wat dit betreft nog wel een en ander te doen en speciaal door modelproeven is er nog wel wat te leren en te bereiken.

En nu ten slotte nog even een laatste punt en dat is de toepassing in boorgaten, dat electrisch kernen heet. Men heeft al vrij vroeg bij diepe boorgaten gevonden, dat het kernen een zeer kostbare geschiedenis is en men is er al gauw op uit geweest het kernen zoveel mogelijk te vermijden. Men moest echter gegevens hebben en nu heeft men de weerstandsmethode gebruikt om die te verkrijgen. Men gebruikt tegenwoordig verschillende variaties op de hiervoor beschreven methode. Wij zullen hier kort één methode aangeven. Aan een geïsoleerde kabel heeft men een niet geïsoleerde stroompool en twee meetpolen, die men in het gat neerlaat, terwijl aan de oppervlakte de tweede stroompool wordt geplaatst. Men krijgt enigszins de invloed van het gat, maar als men zorgt, dat de afstanden tussen de stroompool en de meetpolen

ten opzichte van de diameter van het gat betrekkelijk groot zijn, kan men de invloed van het gat ongeveer uitschakelen. Het moet natuurlijk een onverbuisd gat zijn. Men meet nu de werkelijke laagweerstanden, terwijl de kabel met meetelectroden in het gat wordt neergelaten.

Deze methode wordt al een 25 jaar toegepast en men meende, dat men er heel veel mee kon doen. Men zou precies kunnen bepalen, welke lagen er waren, of er zoet water, zout water of olie in zou zitten. Het bleek, dat dit zeer zeker niet zo gemakkelijk ging en pas na een jarenlange ervaring is men verder gekomen, speciaal omdat men naast deze z.g. normale electrodenopstelling nog een vijftal andere opstellingen gebruikt. Ten slotte is men nu zover, dat men de inhoud van de laag met een redelijke kans kan aangeven.

DISCUSSIE

Ir VOLKER: Welke afstand moet, globaal gezien, tussen de buitenste (stroom)-electroden worden gekozen, ten einde gegevens te verkrijgen over lagen, beginnende op een diepte d.

ANTWOORD: Deze afstand moet ongeveer 4d à 5d zijn.

Dr TROMP: De inleider sprak bijna uitsluitend over het gebruik van gelijkstroom. De voordelen van wisselstroom zijn naar mijn mening vooral het opheffen van polarisatieverschijnselen en het verschaffen van wisselende penetratiemogelijkheden bij wisselende frequentie.
Uit eigen meting is mij bekend, dat men met 600 Hz wisselspanning zeer goed undulaties van veenlagen op enige meters diepte kan registreren.
Ik meen, dat ook een der bezwaren van het gebruik van wisselspanning ligt in de moeilijkheid van de berekening.

ANTWOORD: Bij wisselstroom treden inderdaad geen polarisatieverschijnselen op. Wisselstroom heeft echter het nadeel, dat men te maken krijgt met het skineffect en dat men de intensiteit en de phase moet meten. De berekeningen zijn moeilijk. In de practijk wordt wisselstroom, vooral voor wat grotere diepten, daarom niet meer toegepast.

Dr LINDENBERGH: Indien het terrein niet vlak is, maar grote hoogteverschillen vertoont, gaan dan de formules nog op? De equipotentiaalvlakken zijn dan immers geen halve bollen meer.

ANTWOORD: In dat geval kan men toch de formules gebruiken indien er correcties op worden aangebracht. Dit is echter niet gemakkelijk.

Dr THIADENS: Welke diepte kunt U nog min of meer betrouwbaar bereiken?

ANTWOORD: Dat hangt sterk af van de omstandigheden, zoals de variaties in weerstand van de lagen. In de meeste gevallen zal men een diepte van 400 à 500 m nog behoorlijk kunnen bereiken.

Ir VAN DER MOLEN:

1. Van welke orde van grootte zijn de gebruikte stroomsterkten en de gemeten potentialen?
2. Worden er ook omkeerbare electroden gebruikt ter voorkoming van polarisatie?

ANTWOORD:

1. De stroomsterkten zijn van de orde van grootte van 1 Ampère en de kleinste potentiaalverschillen zijn soms enkele millivolts.
2. Inderdaad worden meestal niet-polariseerbare meet-electroden gebruikt. Bovendien worden de potentiaalverschillen achtereenvolgens gemeten zonder stroomdoorgang, met stroomdoorgang in de ene richting, zonder stroomdoorgang, met stroomdoorgang in de andere richting en ten slotte weer zonder stroomdoorgang.

IV. NEUERE ERGEBNISSE HYDROGEO-ELEKTRISCHER ARBEITEN IN DEUTSCHLAND

F. HALLENBACH

Amt für Bodenforschung, Hannover

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Klärung spezieller geohydrologischer Probleme bedient man sich in steigendem Masse geoelektrischer Verfahren. Seit Kriegsende sind im westdeutschen Bundesgebiet bei der Bearbeitung von etwa 300 hydrologischen Objekten electrische Widerstandsmessungen ausgeführt worden. Den grössten Teil dieser Arbeiten hat die geophysikalische Abteilung des Amtes für Bodenforschung in Hannover auf Vorschlag und in engster Zusammenarbeit mit den zuständigen Geologischen Landesämtern durchgeführt.

Im nordwestdeutschen Raum wurde die Geoelektrik vor allem herangezogen zur Abgrenzung der Gebiete mit versalzenem Grundwasser vorwiegend im Küstenraum, zum Teil auch im Binnenland in der Umgebung grösserer Salzvorkommen. Der Nachweis hochgradiger Versalzung ist immer leicht zu führen. Sobald die Gesteinswiderstände eine bestimmte Grenze unterschreiten, liegt mit Sicherheit Versalzung vor. Weniger einfach sind die Süsz-Salzwasserprobleme, wenn der Salzgehalt etwa nahe der Geschmacksgrenze liegt. Dann treten beispielsweise Schwierigkeiten derart auf, dass saubere Sande oder Kiese, die mit solchem Wasser gesättigt sind, Widerstände der gleichen Grössenordnung aufweisen, wie sie auch Tonen oder Mergeln zukommen, so dass eine Unterscheidung zwischen diesen beiden Alternativen mit Hilfe der Geoelektrik allein nicht möglich ist. Trotz derartiger Schwierigkeiten konnten die Süsz-Salzwasserfragen im ganzen ostfriesischen Küstenraum auf geoelektrische Weise weitgehend geklärt werden.

Am häufigsten wird dem Geoelektriker in Deutschland die Aufgabe gestellt, einen geeigneten Grundwasserleiter aufzusuchen, bzw. näher abzugrenzen und Angaben über mehr oder weniger starke Verlehmung der Sande und Kiese zu machen. Da die Grundwasserleiter relativ schlechte Leiter sind und die Widerstände umso niedriger sind, je höher der Tongehalt der Gesteine ist, handelt es sich in der Regel darum, hochohmiges Gesteinsmaterial nachzuweisen.

Im Zuge dieser Arbeiten wurde insbesondere in Raum Bremerhaven ein altes, ungefähr 100 m tiefes und durchschnittlich 800 m breites Tal aufgefunden, dass offenbar anlässlich einer Landhebung an der Wende Tertiär/Pleistozän entstanden und heute unten mit Tonen und bis zu einer Tiefe von 55 m mit sauberen flufiatilen Sanden gefüllt ist.

Zur Beurteilung des Einzugsgebietes eines Grundwasservorkommens wird oft das Problem gestellt, hydrologisch wichtige Tonvorkommen (Lauenburger Ton) hinsichtlich Verbreitung und Mächtigkeit zu untersuchen. Derartige Aufgaben sind für den Geoelektriker meist sehr dankbar. Das Gleiche gilt auch hinsichtlich der vielfach besonders in Süddeutschland gewünschten Untersuchungen zur Bestimmung

der Mächtigkeit von Talschottern und Terrassenkiesen in alten Abflussrinnen und insbesondere der Herausarbeitung des Reliefs der Basis derartiger Grundwasserleiter.

Verwerfungen und Kluftzonen sind nur in wenigen Fällen geoelektrisch nachweisbar. Die Lage des Grundwasserspiegels kann den Messungen meist nicht entnommen werden.

Der elektrische Widerstand eines Grundwasserleiters ist abhängig vom Wassergehalt, von der Elektrolytkonzentration des Wassers, von der Porosität und vom Tongehalt des Gesteins. Entgegen zuweilen herrschender Ansicht ist er kein Mass für die Korngrösse oder Durchlässigkeit des Gesteinsmaterials. Wenn vielfach beobachtet wird, dass mit Widerstandserniedrigung auch eine Korngrössenabnahme parallel geht, so beruht dies darauf, dass feinkörnige Sande normalerweise einen höheren Tongehalt aufweisen als grobkörnige. Unter sonst gleichen Bedingungen haben Grob- und Feinsande auch annähernd gleiche Widerstände.

Die Auswertung der Messungen ist in gewissen Grenzen mehrdeutig. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, sind einerseits möglichst viele Messungen auszuführen, und andererseits müssen dem auswertenden Geoelektriker alle vorhandenen geologisch-hydrologischen Unterlagen zur Verfügung gestellt werden, um den Spielraum der Deutungsmöglichkeiten weitestgehend einzuengen. Die Zusammenarbeit des Geophysikers mit den ortskundigen Geologen und Hydrologen ist somit eine Selbstverständlichkeit.

DISCUSSIE

Ir VOLKER: Gibt es auch andere geophysischen Methoden – ausser der geoelektrischen – welche für hydrologische Untersuchungen Anwendung finden?

ANTWOORD: Zur Aufsuchung von hydrologisch wichtigen Verwerfungen haben wir mit Erfolg emanometrische Messungen ausgeführt. Thermische Messungen haben sich bei Untersuchungen in Thermalgebieten sowie bei der Klärung von Karstwasserproblemen bewährt. Seismische Refraktionsuntersuchungen sind geplant und zwar einerseits zur Ergänzung der elektrischen Messungen, um stark verbackene undurchlässige Schotter von lockerem Sand- und Kiesmaterial unterschieden zu können, andererseits, um das Felsrelief in den Tälern der Grundgebirge herauszuarbeiten. Die Anwendungsmöglichkeiten für diese Methode dürften in Holland sehr gering sein.

Prof. KRUL: Dr HALLENBACH hat grosse Leitfähigkeitsunterschiede in Deutschland gemessen. Bezieht sich diese Feststellung vorwiegend auf die glazialen Ablagerungen? Das ist nämlich in Holland der Fall.

ANTWOORD: In Nordwestdeutschland ist es ebenso. In Mittel- und Süddeutschland sind jedoch auch in älteren Ablagerungen, vor allem in der Trias, markante Leitfähigkeitsdifferenzen vorhanden.

Dr TROMP:
1. Welche Stationsabstände sind von Dr HALLENBACH verwendet bei den verschiedenen von ihm durchgesprochenen Fragen?
2. Hat man profilweise durchmessen oder an beliebigen Stationen?
3. Kann die Stationenwahl die endgültige Deutung beeinflüssen?

ANTWOORD: Die Auswahl der Meszstellen richtet sich nach der Problemstellung. Bei grossräumigen Untersuchungen (z.B. Klärung der Süss-Salzwasserverhältnisse im Küstengebiet) wird flächenhaft vermessen und im Durchschnitt pro km² eine Station gesetzt. In besonders interessierenden Teilen des Messgebietes, wird die Meszpunktdichte bis zu 4 Stationen pro km² erhöht. Bei Spezialuntersuchungen (z.B. Bestimmung von Schottermächtigkeiten in Tälern) wird meist in Profilen gemessen, wobei die Stationsabstände je nach den geologischen Vorstellungen zwischen 25 und 100 m schwanken.
Es ist zweckmässig, mit den Messungen nicht zu sparen, da die Zuverlässigkeit der Deutung von der Stationszahl wesentlich abhängt.
Eine einzelne Messung, für sich betrachtet, ist in gewissen Grenzen immer mehrdeutig. Die Möglichkeit, Kurven benachbarter Meszstellen bei der Auswertung mit heranziehen zu können, erlaubt eine Einschränkung dieses Spielraumes.

Ir VOLKER: Könnte man gegebenenfalls Ton- und Sandschichten bei Anwendung der geoelektrischen Methode unterscheiden, falls Grundwässer mit verschiedenem Salzgehalt vorhanden sind?

ANTWOORD: Das Vorhandensein versalzener Grundwässer erschwert die Unterscheidung von Ton- und Sandschichten beträchtlich. Bei Chlorgehalten von 250 mg Cl/1 und mehr weisen grundwassererfüllte Kiese oder Sande Wiederstände der gleichen Grössenordnung auf wie Tone und können geoelektrisch von diesen daher nicht mehr unterschieden werden. Ein süsswasserführender Grundwasserleiter hinreichender Mächtigkeit ist aber immer nachweisbar.

Prof. KRUL: Welche Instanz finanziert die Untersuchungen in Deutschland und wie hoch sind die Kosten?

ANTWOORD: Früher stellte das Amt für Bodenforschung die erforderlichen Mittel zur Verfügung. Seit Kriegsende müssen die Auftraggeber (Städte, Gemeinden, Wasserwirtschaftsämter) die Kosten tragen. Sie belaufen sich für einen Messtrupp (Spezialmesswagen, ein Physiker, ein Techniker) auf DM 6.000,— im Monat.

V. BEPALING VAN DE ZOUTGEHALTEN VAN HET DIEPE GRONDWATER IN HET PLISTOCENE LAGENPAKKET ONDER DE IJSSELMEERBODEM VOLGENS DE GEO-ELECTRISCHE METHODE

E. O. HOUTSMA

Dienst der Zuiderzeewerken, 's-Gravenhage

1. Inleiding

Bij de uitvoering van de inpolderingen in het IJsselmeer bleek het noodzakelijk gegevens te verkrijgen betreffende de chemische samenstelling van het grondwater op grote diepten.

Uit enkele pulsboringen tot een diepte van ca 350 m was gebleken, dat in de ondergrond van het IJsselmeergebied een pakket goed doorlatende plistocene zandafzettingen ter dikte van ca 250 m voorkomt, dat wordt afgedekt door moeilijk doorlatende holocene afzettingen met een naar het Westen toenemende dikte van ca 1 tot 15 m. Onder de plistocene zandafzettingen komen afsluitende kleilagen van marine oorsprong voor. De plistocene lagen zijn verzadigd met water van uiteenlopend zoutgehalte.

Het droogleggen van nieuwe polders, waarin door bemaling een polderpeil wordt gehandhaafd, dat enige meters lager is dan het IJsselmeerpeil, heeft infiltratie van het water uit het zandpakket door de holocene lagen tot in de polder ten gevolge (fig. 1). Voor zover in de plistocene lagen brak grondwater aanwezig is, kan op deze wijze een aanzienlijke hoeveelheid zout naar de nieuwe polder worden gevoerd.

Een onderzoek naar het zoutbezwaar, dat hierdoor ontstaat, zowel voor de polder zelf als voor het IJsselmeer, waarin het kwelwater van de polders wordt uitgemalen,

Fig. 1. Diepe kwel door het plistocene zandpakket naar een diepe polder

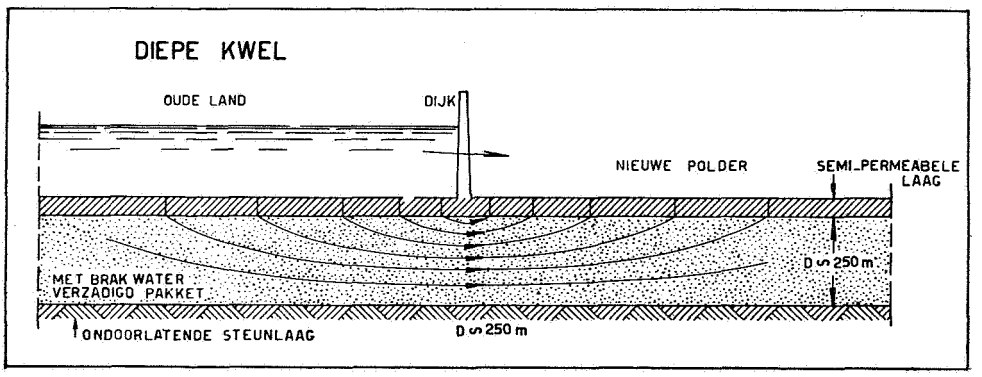


Fig. 1. *Seepage into a deep polder through the permeable sand layers*

Fig. 1. *Infiltration profond à travers le paquet de sables perméables vers un polder profond*

vereist een gedetailleerde kennis omtrent de in de ondergrond aanwezige zoutverdeling. Al spoedig werd uit boringen geconstateerd, dat vooral nabij de oostelijke oever van het IJsselmeer grote verschillen in zoutgehalte voorkomen. Er kon dan ook niet worden verwacht, dat door middel van diepe boringen op snelle en economische wijze een voldoend gedetailleerde kennis van de zoutverdeling bereikt zou kunnen worden.

Anderzijds waren gedetailleerde gegevens omtrent de zoutverdeling gewenst met het oog op het stichten van een prise d'eau voor de drinkwatervoorziening van Oostelijk Flevoland. Hierbij was de aandacht gevestigd op het kustgebied aan de oostelijke oever van het IJsselmeer, waar opkwelling optreedt van uit de Veluwe afkomstig regenwater.

Een vlotte en in vergelijking met boringen goedkope werkwijze om de zoutgehalteverdeling in de ondergrond meer in bijzonderheden te onderzoeken, werd gevonden in de geo-electrische weerstandsmethode uit de geophysica.

Voor de plaatsing der electroden werd gebruik gemaakt van het schema van WENNER, waarbij de vier op een rechte lijn gelegen electroden op onderling gelijke afstand a worden geplaatst. Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van het feit, dat de specifieke electrische weerstand van grondlagen in sterke mate afhangt van het zoutgehalte van het poriënwater. Het grote voordeel van deze geo-electrische metingen is, dat zij aan de oppervlakte kunnen worden uitgevoerd en daarbij inlichtingen verschaffen over de samenstelling van de ondergrond.

2. UITVOERING VAN DE METINGEN

a. Metingen op het land

Wanneer metingen op het land worden verricht met de opstelling volgens WENNER, zijn 4 aders nodig, twee voor de aansluiting van de buitenste stroomelectroden en twee voor de aansluiting van de binnenste meetelectroden. De aders zijn gewonden op haspels, die op een verplaatsbaar statief zijn opgesteld. Bij de toegepaste methode met gelijke electrodenafstand a liggen de meetpunten op een rechte lijn.

Voor een vlot verloop van de meting is het gewenst de meetpunten voor verschillende afstanden a van te voren met behulp van piketten langs de meetlijn uit te zetten, uitgaande van het middelpunt van de meting. Daarna worden de draden uitgerold. Aan het begin van de draad is een staafvormige koperen electrode met een lengte van ca 15 cm bevestigd, terwijl het andere einde wordt aangesloten aan de meetapparatuur. De plaats van de meetlijn moet — zo mogelijk — zodanig worden gekozen, dat de electroden in het water van een sloot of kanaal gelegd kunnen worden ten einde een goed contact met het grondwater te verkrijgen. Is voor een bepaalde electrodenafstand de meting verricht, dan worden de electroden door helpers verplaatst naar de meetpunten voor de volgende stand. Ten einde onnodig heen en weer lopen te voorkomen en ten einde snel achter elkaar de serie meetstanden af te werken, heeft ieder der helpers een lijst, waarop de achtereenvolgens in te nemen punten voor

de electroden zijn aangegeven. Op deze wijze verlopen de metingen voor grote afstanden (a = 500 à 600 m) zonder moeilijkheden op vlotte wijze.

Daar echter de situatie voor elke meting verschillend is, is het van belang van te voren een werkplan op te maken.

b. Wijze van meten

In de verhandeling van Dr B. BAARS is afgeleid, dat de te meten schijnbare specifieke weerstand van de grond wordt berekend uit:

$$\varrho_a = 2\,\pi\,a\,\frac{V}{I}, \text{ waarin:}$$

ϱ_a = de schijnbare specifieke weerstand in Ohmmeters;
a = de electrodenafstand in m;
V = het potentiaalverschil tussen de meetelectroden in Volts;
I = de stroomsterkte van de stroom door de stroomelectroden in Ampères.

In fig. 2 is een principetekening gegeven van de wijze, waarop deze grootheden worden gemeten.

Met behulp van accu's, eventueel verbonden met omvormers, wordt een gelijkstroom I door de stroomelectrode I_1, via de grond naar I_2 gezonden. De grootte van deze stroom wordt afgelezen op de ampèremeter A. Gebleken is, dat in de meeste gevallen onder de gegeven omstandigheden met de gebruikte apparatuur bij een stroomsterkte van 1 Ampère en een klemspanning van 250 à 300 V zeer bevredigende resultaten worden verkregen zelfs in die gevallen, waarin het electrische geleidingsvermogen van de poriënvloeistof een zeer hoge waarde bezit.

FIG. 2. Principe opstelling van de meetapparatuur volgens de vier-electroden-opstelling volgens WENNER

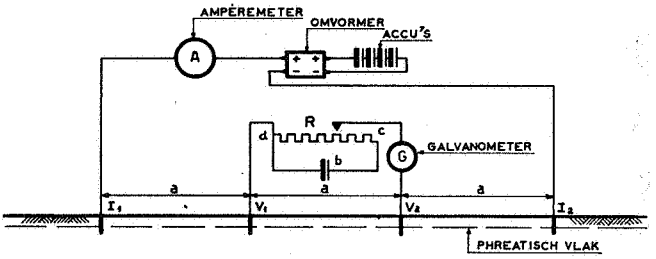


FIG. 2. *Diagrammatic representation of the measuring device using the* WENNER *electrode configuration*

FIG. 2. *Principe de l'apparature selon la configuration* WENNER *à quatres électrodes*

Het potentiaalverschil V tussen de meetelectroden V_1 en V_2, dat ontstaat door het aangebrachte electrische veld wordt gemeten met behulp van een compensatieschakeling. Het meetprincipe met deze schakeling is, dat het potentiaalverschil V aan de meetelectroden wordt gecompenseerd door het aanleggen van een tegenspanning met behulp van een regelbare weerstand R, die is opgenomen in de stroomkring bcd. De grootte van deze tegenspanning wordt zodanig gekozen, dat de galvanometer G, opgenomen in het meetcircuit, geen uitslag meer vertoont. Het meetcircuit

is nu stroomloos en de tegenspanning gelijk en tegengesteld aan het potentiaalverschil V.

De draagbare draaispoel-spiegelgalvanometer, die als nulindicator wordt gebruikt, heeft een gevoeligheid van ongeveer 4×10^{-6} V en 10×10^{-9} A voor een uitwijking van 1 mm op de schaal, terwijl arretering overbodig is.

Een overzicht van de meetapparatuur is gegeven in fig. 3. Geheel rechts een gevoelige spiegelgalvanometer, links de stroomkast, waarin de omvormers zijn gebouwd, in het midden de meetkast met de weerstandsbank, de stekkers voor de bevestiging van de kabel en de negenstanden-schakelaar voor metingen op het water.

Het toepassen van gelijkstroom veroorzaakt electrolyse als gevolg van de in het grondwater aanwezige electrolyten, waardoor aan de stroomelectroden polarisatiespanningen optreden.

Ten einde het effect van dit verschijnsel te verminderen, werden voorheen z.g. polarisatievrije electroden toegepast, bestaande uit met kopersulfaat gevulde poreuze potten, waarin de electroden geplaatst konden worden. Door het toepassen van een meettechniek, waarbij voortdurend wordt gecommuteerd, is gebleken, dat de polarisatie vrijwel geen invloed heeft, zodat toen werd overgegaan op het gebruik van koperen staafelectroden, temeer daar het plaatsen van de poreuze potten zeer tijdrovend was.

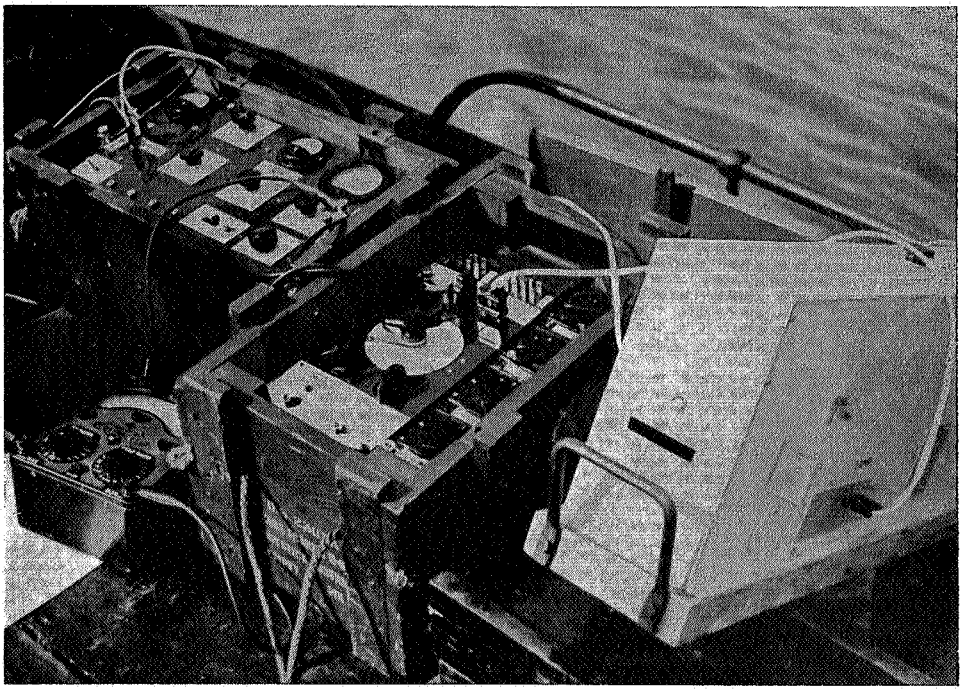


FIG. 3

Aan de meetelectroden kunnen ook zonder een kunstmatig aangelegd electrisch veld potentiaalverschillen worden gemeten, als gevolg van lekstromen, die aanwezig zijn in de omgeving van industriecentra en langs electrische spoorwegen en als gevolg van tellurische stromen. Om de storende invloed hiervan op te heffen, is in het meetcircuit een tweede compensator in serie met de andere opgenomen. De werkwijze is nu zodanig, dat eerst deze spontane potentialen worden gecompenseerd, waarna stroom wordt toegevoerd en het potentiaalverschil, veroorzaakt door het aangelegde potentiaalveld, wordt gecompenseerd. Door deze serie handelingen verschillende malen te herhalen, waarbij tevens afwisselend de stroomrichting wordt omgekeerd, vertoont ten slotte de galvanometer geen uitslag meer en kan het potentiaalverschil V worden afgelezen op de regelbare weerstand.

De compensatiemethode heeft boven andere meetmethoden het grote voordeel, dat afgelezen wordt, wanneer de galvanometer geen uitslag geeft en derhalve het meetcircuit stroomloos is. Enerzijds wordt daardoor het meetresultaat niet beïnvloed door polarisatie aan de meetelectroden, terwijl anderzijds het aangelegde potentiaalveld niet wordt verstoord.

c. Metingen op het water

Het uitvoeren van landmetingen vereist slechts 4 aders, waarbij men de afstand a tussen de electroden laat variëren. De werkwijze op het land is echter voor metingen op het water ongeschikt, daar de electroden zeer moeilijk verplaatst kunnen worden. Derhalve is voor metingen op het water een speciale kabel ontworpen, welke 14 aders bevat. Op verschillende afstanden eindigen de aders buiten de kabel en vormen op deze wijze 14 electroden. De onderlinge afstanden der electroden zijn zodanig bepaald, dat met de 14 aders, 9 combinaties van 4 electroden gevormd kunnen worden. De totale lengte van de kabel is 1400 m, de onderlinge afstanden der electroden in de 9 verschillende standen zijn:

a = 44, 88, 132, 176, 222, 264, 308, 352 en 396 m (fig. 4).

Ten einde een dunne soepele kabel met een gering gewicht te verkrijgen, waarin bovendien kleine trekkrachten zonder bezwaar opgenomen kunnen worden, is elke ader samengesteld uit 3 vertinde koperdraden en 4 vertinde staaldraden, geïsoleerd door een laag polytheen ter dikte van 1 mm. Rondom de aders is een niet-waterdichte wikkeling van plastic band aangebracht met daar omheen gevlochten de buitenbekleding, bestaande uit sarandraad.

De kabel is gewonden op een haspel en het uiteinde bevestigd aan een op de haspel gemonteerde stekker, zodat door een hulpkabel met eveneens 14 aders de aansluiting op de meetapparatuur kan worden verkregen.

De haspel met de meetkabel is opgesteld op het achterdek van een sleepboot. Door het in een rechte lijn varen van de sleepboot wordt de kabel uitgelegd, nadat een ankertje bevestigd aan het begin van de kabel over boord is geworpen, zulks om te voorkomen, dat de kabel tijdens het varen over de bodem sleept.

De plaats waar de kabel zal worden uitgelegd, wordt bepaald met behulp van een

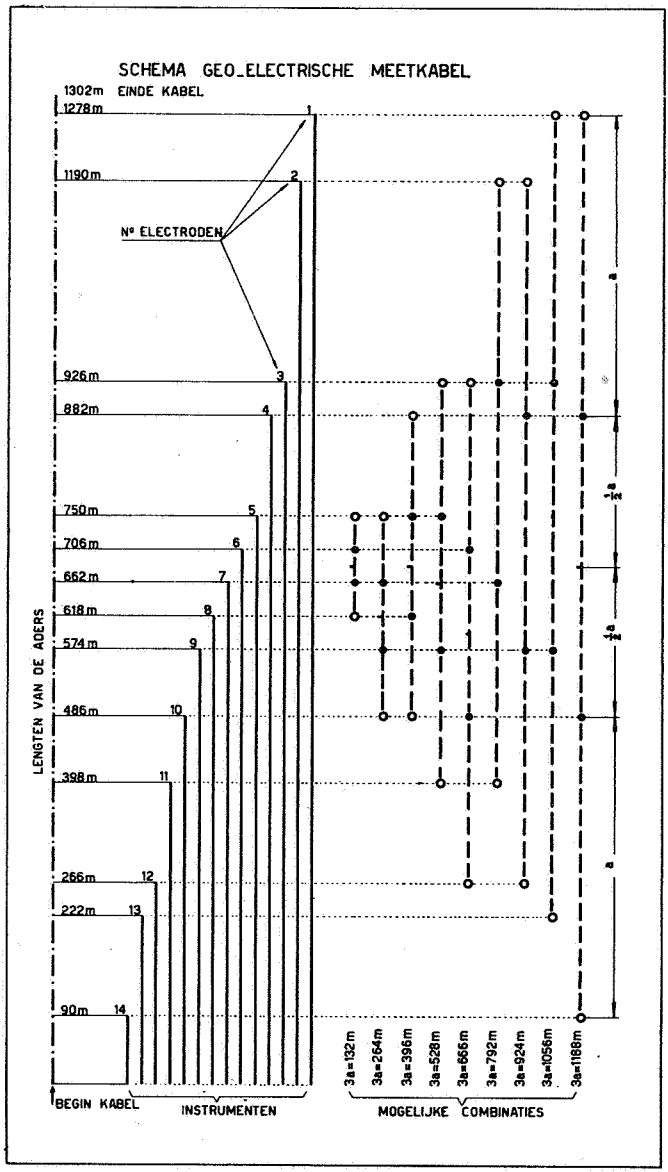


FIG. 4.

Schema van meetkabel met veertien electroden voor metingen op het water

FIG. 4.

Scheme of the cable for resistivity measurements at sea

FIG. 4.

Schèma du cable avec quatorze électrodes pour opérations en plein mer

Snellius-meting, waarbij gebruik wordt gemaakt van op de kust gelegen in coördinaten bekende punten.

Is de kabel uitgelegd, dan gaat de sleepboot voor anker. Het varen tijdens het uitleggen heeft plaats recht tegen de wind ten einde de sleepboot „met de kop in de wind" te ankeren, zodat bij eventueel krabben van het anker wordt voorkomen, dat aan de meetkabel wordt getrokken.

Nadat de meting is verricht, wordt de kabel wederom binnengehaald. Daarvoor zijn zijdelings van de sleepboot twee achter elkaar geplaatste katrollen aangebracht. Al varende wordt de kabel over deze katrollen geleid en op de haspel gewonden.

De wijze van meten verschilt niet van de hiervoor aangegeven methode. De aansluiting van de meetkabel op de meetapparatuur is zodanig geconstrueerd, dat de gewenste meetstand kan worden verkregen door middel van een samengestelde negenstanden-schakelaar.

FIG. 5 geeft de opstelling van de meetkabel en de meetapparatuur op het achterdek van een sleepboot tijdens het uitleggen van de kabel.

3. INTERPRETATIE VAN DE MEETRESULTATEN

De uit de metingen berekende waarden van ϱ_a worden op dubbel-logarithmisch papier uitgezet ten opzichte van de electrodenafstand a.

Het is gewenst om onmiddellijk na afloop van een meting met behulp van een eenvoudige interpretatiemethode een globale indruk van de verschillen in specifieke electrische weerstand en van de diepten der scheidingsvlakken van de lagen te verkrijgen. Gemaakte meetfouten kunnen dan nog hersteld worden en het verdere meetprogramma kan worden aangepast aan reeds verkregen voorlopige resultaten, waardoor een besparing op het meetprogramma kan worden verkregen.

Zijn slechts twee lagen aanwezig, dan wordt toegepast de interpretatiemethode van ROMAN, die gebruik maakt van op dubbel-logarithmisch papier getekende hulpkrommen met verschillende contrastfactoren. Door één van de hulpkrommen met de meetkromme te laten samenvallen, worden de specifieke electrische weerstanden van de beide lagen en het scheidings-

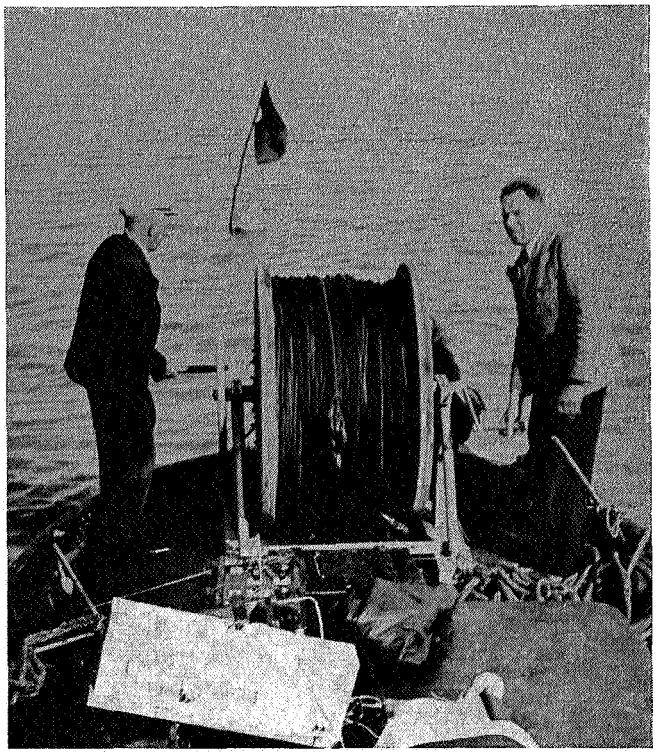


FIG. 5

vlak gevonden. De aflleiding van deze methode is gegeven in de verhandeling van Dr BAARS.

Wanneer, zoals vrijwel altijd in het te onderzoeken gebied het geval is, 3 verschillende lagen worden aangetroffen, dan is de interpretatie moeilijker, omdat een mathematische berekening van 3-lagenkrommen zeer tijdrovend en kostbaar is. In die gevallen geeft de methode van HUMMEL een snelle oplossing; allereerst worden hierbij de twee bovenste lagen (het begin van de meetkromme) behandeld als een twee-lagenprobleem. Vervolgens worden deze beide lagen vervangen door een laag met een specifieke electrische weerstand, die wordt gevonden door het toepassen van de wet van KIRCHHOFF voor parallel geschakelde weerstanden. Deze fictieve laag vormt met de derde laag (het laatste gedeelte van de meetkromme) wederom een op te lossen twee-lagenprobleem. Afhankelijk van de vorm van de meetkromme moet op de zo gevonden diepte een correctie worden toegepast met behulp van een door MAILLET en EBERT aangegeven methode in verband met de anisotropie der lagen.

FIG. 6. Voorbeeld van een gemeten electrische weerstandskromme voor drie lagen en het resultaat van de interpretatie

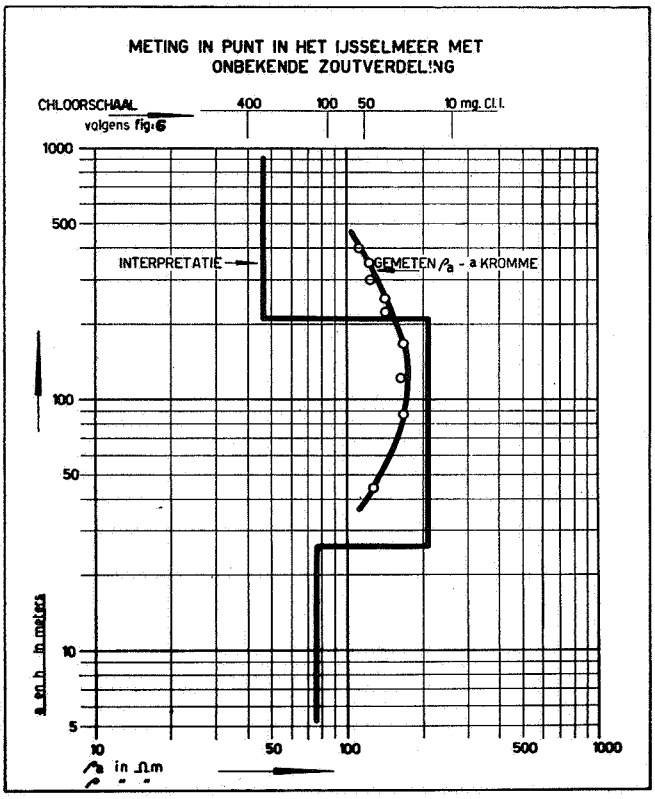


FIG. 6. *Interpreted electrical resistivity curve for three layers*
FIG. 6. *Exemple d'une courbe de résistivité électrique dans le cas de trois couches et le résultat de l'interprétation*

In fig. 6 is een drielagenkromme met de interpretatie er van getekend.

Een interessant voorbeeld van interpretatie is gegeven in fig. 7. Deze metingen werden verricht aan weerszijden van de Afsluitdijk, waar de zoute bovenlaag (chloorgehalte 16 000 mg chloor per liter) aan de IJsselmeerzijde is verzoet. Dit heeft ten gevolge, dat de meetkrommen een zeer verschillend karakter vertonen, terwijl uit de interpretatie blijkt, dat behoudens dit verschil in de bovenlaag, volkomen identieke weerstanden van de diepere formaties worden gevonden.

Weliswaar kleven aan de interpretatiemethode wel enige bezwaren, maar dit neemt niet weg, dat in het onderzochte gebied met een over het algemeen zeer gelijkmatige structuur zowel in horizontale als in verticale richting, de gevolgde methode zeer goed bruikbaar is, zoals is gebleken bij het vergelijken van meetresultaten met uitgevoerde diepe boringen, hetgeen in paragraaf 4 zal worden behandeld.

Contrôlemetingen ter plaatse van uitgevoerde boringen geven bovendien voor de interpretatie van de metingen, waar het zoutgehalte nog onbekend is, belangrijke aanwijzingen, omdat de metingen tussen de punten met een bekende zoutverdeling door interpolatie en onderling vergelijken uitgewerkt kunnen worden.

Voor enkele belangrijke gevallen werden door het Mathematisch Centrum te Amsterdam krommen berekend voor profielen met meerdere lagen en verschillende specifieke weerstanden. Hierbij konden met de superpositiemethode van ROMAN en HUMMEL en met interpolatorische interpretatie geen bevredigende resultaten worden verkregen. Deze profielen werden vastgesteld aan de hand van de chloorgehalten van watermonsters, die op verschillende diepten bij uitgevoerde diepe boringen waren verkregen.

FIG. 7. Sterk uiteenlopende meetkrommen aan weerszijden van de Afsluitdijk, veroorzaakt door het verschil in zoutgehalte van een dunne bovenlaag

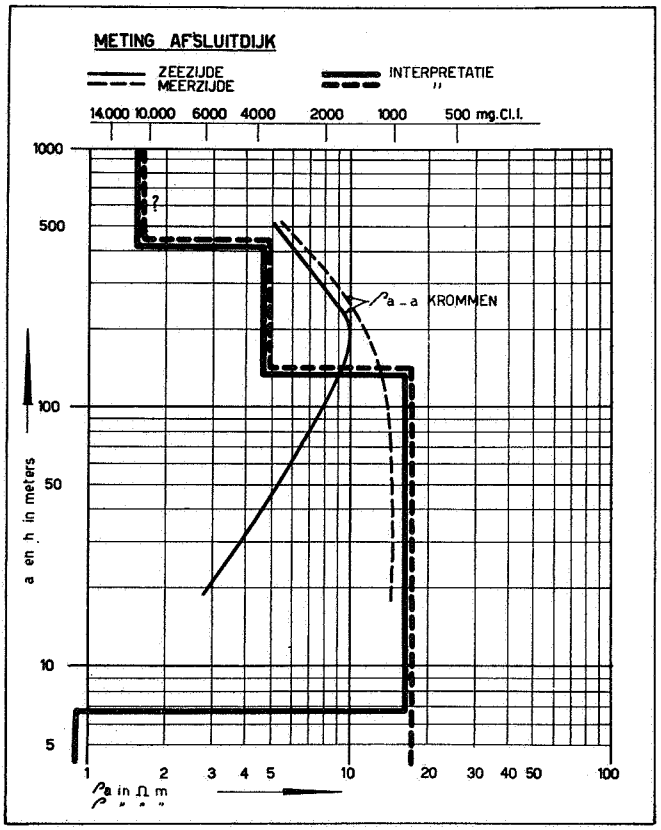


FIG. 7. *Disparity curves at both sides of the enclosing dam of the Zuiderzee, caused by a difference in salinity of a thin upper layer*

FIG. 7. *Différence entre les courbes mesurée des deux cotés de la digue de barrage du Zuiderzee*

4. Bepaling van het verband tussen het chloorgehalte van de poriënvloeistof en de specifieke electrische weerstand van het bodempakket

a. Het chloorgehalte van de poriënvloeistof

Tijdens en ook vóór de sedimentatie van het plistocene lagenpakket zijn marine transgressies opgetreden, waarbij een groter of kleiner deel van het huidige gebied van het IJsselmeer door zeewater werd overspoeld. Daarbij trad een gedeeltelijke verzilting van het grondwater op, zodat het thans op vele plaatsen aanwezige grondwater als min of meer verdund zeewater kan worden beschouwd.

Nu is het een bekend feit, dat de verschillende in zeewater voorkomende zouten in vaste onderlinge verhouding voorkomen. Gezien de herkomst geldt dit eveneens voor het diepe grondwater in het plistocene lagenpakket.

Als indicator voor het totale zoutgehalte kan het gehalte aan chloorionen dus goed dienen.

Behalve het gehalte aan Cl- en andere ionen werd van vele grondwatermonsters, afkomstig uit diepe boringen, waarin op verschillende diepten filters waren aangebracht, ook het electrisch geleidingsvermogen bepaald. Dit electrisch geleidingsvermogen, gedefinieerd als de reciproke waarde van de specifieke electrische weerstand is o.a. afhankelijk van de ionenconcentraties en de temperatuur.

Uit de laboratoriumanalyse van de watermonsters kon het verband worden vastgesteld tussen het chloorgehalte van de poriënvloeistof en de specifieke electrische weerstand ϱ_1 van deze poriënvloeistof bij een bepaalde temperatuur (fig. 8).

b. Gegevens betreffende de verhouding van de specifieke weerstand van de poriënvloeistof en de weerstand van het systeem vloeistof en korrels

De structuur van het grondmassief kan gedacht worden als een skelet van korrels, waarbij de ruimten tussen de korrels volledig met water en de daarin opgeloste zouten zijn gevuld. De electrische weerstand van de korrels is vrijwel oneindig groot, de poriënvloeistof kan echter, als de poriënruimten onderling verbonden zijn, stroom geleiden. De specifieke electrische weerstand van formaties staat dientengevolge in verband met de porositeit en is evenredig met de specifieke weerstand van de formatievloeistof.

K. Sundberg heeft voor verschillende porositeiten de verhouding α berekend tussen de specifieke electrische weerstand van het systeem, bestaande uit korrels en vloeistof (ϱ) en de specifieke electrische weerstand (ϱ_1) van de poriënvloeistof.

Bij porositeiten gelegen tussen 26 en 73 % wordt hierbij uitgegaan van een hexagonale, rhombische en kubische korrelstapeling van bolvormige niet-geleiders, terwijl porositeiten kleiner dan 26 % worden geschematiseerd tot een stelsel evenwijdig aan elkaar gelegen cylindrische buisjes met gelijke doorsnede, welke elkaar niet raken.

Uit de door Sundberg gevonden kromme blijkt, dat tussen een volledig met vloeistof gevuld poriënvolume van 25,9 en 47,6 % de verhouding $\alpha = \varrho/\varrho_1$ varieert van 5,8 tot 2,6, onafhankelijk van het chloorgehalte van de poriënvloeistof. Voor

FIG. 8. De betrekking tussen het chloorgehalte van het grondwater in mg per liter en
1°. de specifieke weerstand van het grondwater (ϱ_1),
2°. de specifieke weerstand van het met water verzadigd zandpakket (ϱ)

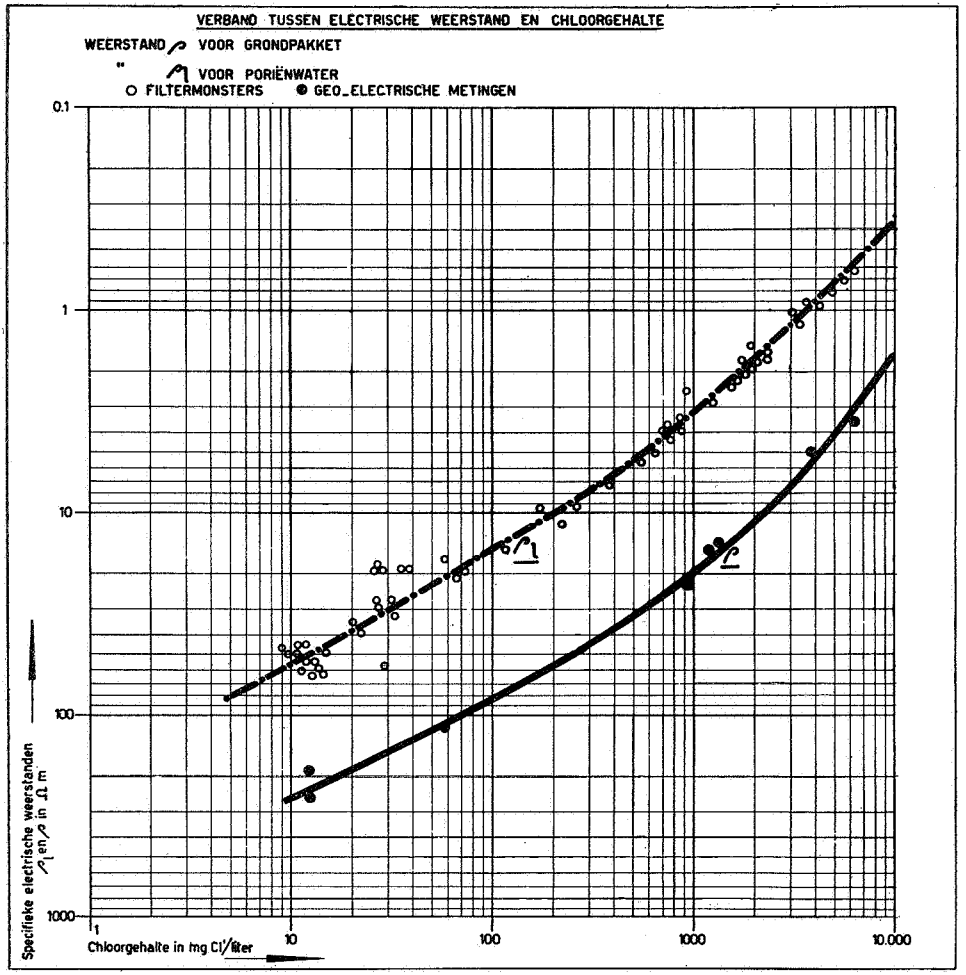


FIG. 8. *Relation between the chlorine content of the ground water in p.p. m. and*
1st. the specific resistivity of the ground water (ϱ_1),
2nd. the specific resistivity of the saturated sand layers (ϱ)

FIG. 8. *La relation entre le tenure en chlore de l'eau du sous-sol en mg/litres et*
1) la résistivité spécifique de l'eau souterrain (ϱ_1)
2) la résistivité spécifique du paquet de sables saturés (ϱ)

het plistocene zandpakket onder het IJsselmeer met een poriënvolume van 35 % wordt uit de kromme gevonden $\alpha = 4{,}7$.

L. J. KLINKENBERG is langs andere weg tot hetzelfde resultaat gekomen bij een onderzoek naar de overeenkomst tussen diffusie en electrisch geleidingsvermogen van poreuze gesteenten. Deze verschijnselen zijn namelijk mathematisch equivalent. Hij splitst de verhoudingsfactor tussen de weerstanden van het water en het gesteente als geheel in twee factoren: de porositeit f en een lithologische factor L en noemt het quotiënt $\frac{f}{L}$ de „effective directional porosity" in navolging van GARRELS e.a. Dit quotiënt komt overeen met de factor α. Uit proeven blijkt, dat de lithologische factor L van zand varieert tussen 1,4 en 2.

Daar $\alpha = \frac{\varrho}{\varrho_1} = \frac{L}{f}$ wordt dus, uitgaande van een poriënvolume van 35%, voor de grenzen van deze grootheid gevonden 4,0 en 5,7, hetgeen aansluit bij de resultaten door SUNDBERG gevonden.

A priori is dus op grond van deze beschouwingen voor de omstandigheden in het IJsselmeergebied een waarde van α van 4 à 5 te verwachten.

Het was echter gewenst de juiste waarde door metingen in het terrein zelf te verifiëren. Het feit, dat beschikt kon worden over de resultaten van vooraf uitgevoerde diepe boringen, bood hiertoe de gelegenheid.

c. IJking van de meetmethode

Het bepalen van de waarde van α door proeven op ongeroerde monsters heeft slechts een betrekkelijke waarde, daar grote plaatselijke variaties kunnen voorkomen en alleen de gemiddelde waarde van belang is.

De enige juiste wijze van bepaling ligt in metingen in het terrein, volgens dezelfde methode, waarmede de metingen voor het eigenlijke onderzoek worden uitgevoerd, waardoor inderdaad — doordat met grote grondvolumina wordt gewerkt — gemiddelde waarden worden verkregen, welke veel meer karakteristiek zijn dan de waarden, geldende voor kleine monsters.

Derhalve werd begonnen met het uitvoeren van geo-electrische metingen ter plaatse van de reeds vroeger uitgevoerde boringen, dus op plaatsen, waar de zoutverdeling in het poriënwater uit tijdens de uitvoering der boringen ontleende watermonsters nauwkeurig bekend was. Uiteraard zijn daarbij vooral die plaatsen van belang, waar het zoutgehalte weinig varieert met de diepte, zodat weinig moeilijkheden bij de interpretatie der geo-electrische metingen kunnen worden verwacht.

Als zodanig kunnen o.a. worden beschouwd twee punten I en II (fig. 10) in de omgeving van Harderwijk, waar boringen tot een diepte van ongeveer 350 m werden uitgevoerd.

Een geo-electrische meting, uitgevoerd in punt I, deed zien, dat tot een diepte van 220 m een laag in de ondergrond moest voorkomen met een specifieke weerstand van 180 Ω m. Bij de boring in dit punt werden aan deze zelfde laag 8 watermonsters ontleend, waarin een gemiddeld chloorgehalte van 15 mg per liter werd gevonden.

In punt II werden op diepten van 150 en 200 m chloorgehalten gevonden van 1100 mg per liter; volgens de geo-electrische meting komt van 70 tot 220 m een laag voor met een specifieke weerstand van 18 Ωm.

Op deze wijze kan het verband worden opgespoord tussen het chloorgehalte van het poriënwater en de specifieke weerstand ϱ van het systeem, bestaande uit korrels en poriënvloeistof.

In fig. 8 zijn de resultaten van alle ijkingsmetingen weergegeven.

De gevonden lijn vormt voor het verdere onderzoek de ijkkromme, waarmede in punten met onbekende zoutverdeling de aanwezige chloorgehalten van het poriënwater kunnen worden afgeleid uit de waargenomen waarden van ϱ.

De verticale afstand tussen de beide lijnen (ϱ en ϱ_1) in fig. 8 is een maat voor de factor α.

Het blijkt, dat $\alpha = 5{,}35$. Deze waarde is onafhankelijk van het chloorgehalte. Er dient echter nog een temperatuurscorrectie te worden toegepast, daar de weerstand ϱ betrekking heeft op de bodemlagen in situ, welke een temperatuur van gemiddeld 10° C hebben, terwijl de weerstand ϱ_1 van de watermonsters is omgerekend op een temperatuur van 18° C. Na het aanbrengen van correctie voor het temperatuurverschil wordt gevonden $\alpha = 4{,}5$, welke waarde inderdaad in goede overeenstemming is met hetgeen op grond van onderzoek van anderen (4-b) kon worden verwacht.

5. Resultaten van het onderzoek in punten met onbekende zoutverdeling in de ondergrond

In 1951 en 1952 vond een gedetailleerd onderzoek plaats in het gebied van de toekomstige polder Oostelijk Flevoland, waar een aantal metingen op het water werd verricht, uitgebreid met een aantal landmetingen langs de Veluwekust en op reeds gereed gekomen dijkvakken.

Met behulp van vijftig geo-electrische metingen en de resultaten van de diepe boringen bij Elburg, Lelystad, alsmede twee boringen ten Noorden van Harderwijk (fig. 9) kon voor het beschouwde gebied de gemiddelde chloorgehalteverdeling in het plistocene zandpakket worden aangegeven. In fig. 10 is deze verdeling aangegeven; getekend zijn de isohalinen voor 100, 500, 1000, 2000 en 3000 mg Cl-ion per liter.

Langs de oostelijke oever van het IJsselmeer komen twee gebieden voor, waar het chloorgehalte lager is dan 100 mg Cl per liter. Het ene gebied is ten zuidwesten van Elburg gelegen, het andere is gelegen ten noordwesten van Harderwijk.

Vanuit de kuststrook neemt in westelijke richting het zoutgehalte in meer of minder sterke mate toe. Vooral in het gebied ten noorden van Harderwijk werd een zeer aanzienlijke toename van het zoutgehalte geconstateerd van 100 tot 1000 mg Cl per liter over een afstand van ongeveer 2 km. Het zoute grondwater dringt hier — gezien in het horizontale vlak — wigvormig tot ver in het zoete gebied door.

Ook in de omgeving van Lelystad, waar het Cl-gehalte reeds is toegenomen tot 2000 à 3000 mg per liter, treedt in westelijke richting een sterke toename van het zoutgehalte op.

FIG. 9. Contrôlemetingen uitgevoerd bij boringen in de omgeving van Harderwijk

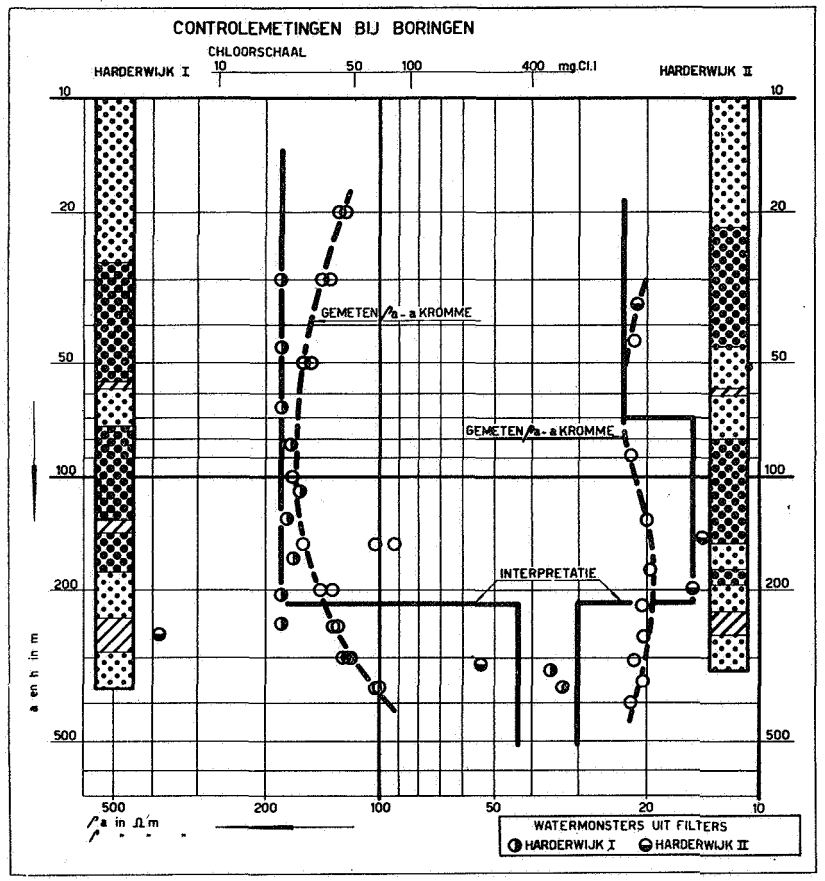


FIG. 9. *Electrical resistivity measurements correlated with borings in the neighbourhood of Harderwijk*

FIG. 9. *Mesures de contrôle près de forages, aux environs de Harderwijk*

Naschrift

Inmiddels is in 1954 het onderzoek langs de oostelijke oever van het IJsselmeer uitgebreid met een groot aantal metingen ten einde de uitgebreidheid van het gebied met zoet water nader vast te stellen in verband met de uitvoering van een aantal boringen voor het stichten van een prise d'eau voor de drinkwatervoorziening van Oostelijk Flevoland.

Op grond van de voorlopige resultaten van dit onderzoek werd ten behoeve van de drinkwatervoorziening ongeveer 3 km ten noordwesten van Harderwijk op de Knardijk een boring tot een diepte van 250 m geprojecteerd. Met de uitvoering is reeds begonnen. De resultaten van deze boring zullen een waardevolle contrôle van het geo-electrisch onderzoek verschaffen.

FIG. 10. De langs geo-electrische weg bepaalde verdeling van het zoutgehalte in het plistocene zandpakket voor het oostelijke gedeelte van het IJsselmeer

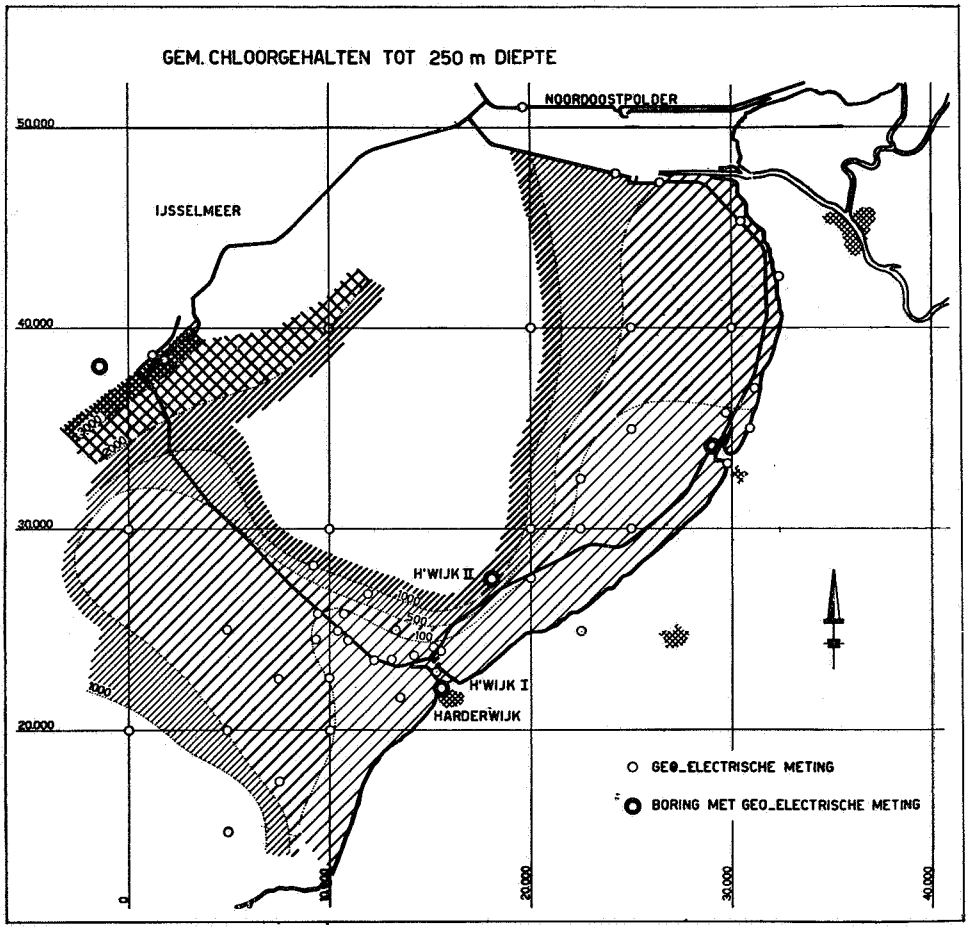


FIG. 10. *The salinity of the sandy layers in the eastern part of the Ysselmeer, measured according to the electrical resistivity method*

FIG. 10. *La salinité des paquets de sable dans la partie vers l'est du IJsselmeer, mésurée d'après la methode de la resistivité électrique*

DISCUSSIE

Ir BIJKER: Liggen de electroden op de grond of moeten zij op de grond worden gedrukt?

ANTWOORD: Bij metingen op het land worden de electroden, die dan uit koperen staven, ongeveer 1 á 2 m lang, bestaan, in de bodem gestoken; zo mogelijk tot in het grondwater om beter contact te krijgen. Bij een meting langs een sloot worden korte koperen staven, ca 0,15 m lang in de sloot gelegd.
Op het water liggen de electroden, die dan kousjes van kopergaas zijn, los op de bodem, omdat contact in elk geval door het water reeds verzekerd is.

Ir BIEMOND: Is het niet mogelijk, dat er in het gebied zo belangrijke storingen voorkomen, dat de premissen, waarvan bij het onderzoek is uitgegaan, niet meer opgaan?

ANTWOORD: Storingen, op een afstand groter dan 2 à 3 a (de Wennerse electrodenafstand), hebben geen merkbare invloed op de metingen.
In een ongeplooid gebied wordt meestal gewerkt met de hypothese van horizontale lagen en is een interpretatiemethode voor dit geval ontwikkeld. Gaat deze premisse onvoldoende op, dan wijst reeds de vorm van de krommen op verstoringen en afwijkingen en moet dus een andere interpretatiemethode, gebaseerd op wel toepasselijke premissen, worden gebruikt. Soms zal ook de electrodenopstelling worden gewijzigd om duidelijker effecten te krijgen.
Lagen, die bestaan uit een snelle afwisseling van dunne laagjes of lagen, waarin vele kleine insluitingen of lenzen van een ander gesteente voorkomen, komen in het geo-electrische meetresultaat als één laag met een soort gemiddelde weerstand te voorschijn.
Een zandlaag met een in verhouding te lage weerstand kan dus duiden op een lichte verzilting van het grondwater of op verontreiniging door sliblaagjes, eventueel ook op een hoog slibgehalte. Vaak kan op grond van een algemene kennis van het te onderzoeken gebied een van beide worden uitgesloten, anders moet een boring beslissen. Soms is het onderscheid irrelevant, b.v. voor drinkwatervoorziening, daar dan geen van beide aantrekkelijk is.
Om de bruikbaarheid van premissen aan te tasten, moeten storingen hierom vrij ingrijpend zijn, waardoor zij weer zelden zo dicht bij elkaar voorkomen, dat zij tot een andere werkhypothese dwingen.

Ir VOLKER: Welke besparingen zijn met het onderzoek verkregen, vergeleken met een onderzoek volgens de klassieke methoden?

ANTWOORD: Pulsboringen tot ruim driehonderd meter kosten tussen de 50 000 en 100 000 gulden per boring. Om het voor het Zuiderzee-onderzoek belangrijkste gebied af te boren, zou dan dus, wanneer men een net met mazen van 5 km afboort, ongeveer 30 boringen gemiddeld à f 75 000,— of ruim f 2 000 000,— nodig zijn.
Het geo-electrisch onderzoek zal na voltooiing bij benadering kosten (mazen 1 km):

investeringen (instrumenten, kabels etc.)	f 20 000,—
50 weken meten à f 500,—	25 000,—
eigen kosten	25 000,—
Totaal circa	f 70 000,— = 1 boring.

De heer VAN DER KLEY: Heeft de Dienst der Zuiderzeewerken het plan ook in de overige IJsselmeerpolders metingen volgens de weerstandsmethode toe te passen?

ANTWOORD: Het ligt in de bedoeling de metingen zodanig af te ronden, dat een volledig overzicht van de structuur van de diepere lagen onder de IJsselmeerbodem wordt verkregen, voor zover van belang voor de inpolderingswerkzaamheden en hun eventuele gevolgen.

VI. VERDERE TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VOOR DE GEO-ELECTRISCHE METHODE IN NEDERLAND

J. H. BELTMAN

Archief van Grondwaterstanden T.N.O., 's-Gravenhage

INLEIDING

In het kader van de voordrachten over de geo-electrische weerstandsmethode werd aan mij de taak toebedeeld, mogelijkheden voor de toepassing daarvan in Nederland te bespreken, buiten de toepassing zojuist door Ir HOUTSMA behandeld. Dat wil zeggen, dat ik U een aantal problemen ga noemen, op geologisch zowel als op hydrologisch gebied, waarbij de toepassing van de weerstandsmethode „mogelijk" mede kan helpen een oplossing te vinden.

Het is nl. niet zó, dat steeds tevoren reeds met zekerheid kan worden aangegeven, in hoeverre de methode resultaten zal opleveren. Echter is hierover wel enig inzicht te verkrijgen, nl. door bestudering van de boorgegevens en hydrologische gegevens van het te onderzoeken gebied. Dit is bovendien noodzakelijk, omdat voor de interpretatie van de gemeten weerstandskrommen de metingen zoveel mogelijk dienen te worden aangesloten op boringen. Tòch blijft echter steeds van kracht, dat „the proof of the pudding is in the eating".

Incidenteel zal bij het geo-electrisch onderzoek een boring nodig zijn, ten einde door middel van electrisch kernen — door Dr BAARS in zijn voordracht kort besproken — de weerstand van de verschillende lagen in de ondergrond te bepalen, ten behoeve van een zo nauwkeurig mogelijke interpretatie van de gemeten weerstandskrommen.

Wanneer ik slechts enkele problemen zal noemen, waarbij mogelijk de weerstandsmethode met succes zal kunnen worden toegepast, dan wil dat niet zeggen, dat daarmede alle toepassingsmogelijkheden zouden zijn uitgeput.

Voorts zullen er vanzelfsprekend in de geologie en de hydrologie steeds nieuwe problemen opduiken, terwijl de toepassingsmogelijkheden van de weerstandsmethode zich zullen uitbreiden naarmate uit modelproeven en veldwerk de ervaring groeit, vooral wat betreft het interpreteren.

De te bespreken problemen liggen zowel op geologisch als op hydrologisch gebied. Voor wat de geologische problemen betreft heeft de Geologische Dienst te Haarlem mij gevraagd deze hier namens deze dienst naar voren te willen brengen, hetgeen ik zeer op prijs stel, terwijl ik gaarne dank zeg voor de daartoe gegeven hulp.

Dat de meeste geologische problemen ook in hydrologisch opzicht belangrijk zijn, behoeft niet te verwonderen, gezien de zeer nauwe samenhang tussen geologie en hydrologie. De lithologische eigenschappen der aardlagen zijn maatgevend voor het watervoerend vermogen daarvan en mede voor de chemische samenstelling van het grondwater.

Het eerste probleem, dat ik U wil noemen, is een meer geologisch, nl. dat van het voorkomen van:

1. Dikke klei-afzettingen in Noord-Nederland

Zoals U bekend zal zijn, rust de keileem in het midden van ons land bijna steeds op een grofkorrelig zandpakket, in het noorden daarentegen, in Friesland en Groningen, bijna steeds op een fijnkorrelig pakket, waaronder dan wel in de meeste gevallen op wisselende diepte het grofkorrelige pakket volgt, dat veelal als de voortzetting wordt beschouwd van het grofkorrelige pakket in het midden van het land.

In dit fijnkorrelige zandpakket nu, waarvan de dikte veelal 10 tot enkele tientallen meters bedraagt, doch op sommige plaatsen zelfs meer dan 100 m, komen kleilagen voor, welke worden samengevat onder de naam „potklei", een naam, reeds door Staring [1] gebruikt en ook voorkomende op de Geologische Kaart van Nederland (zie b.v. kaartblad 7 Groningen); zij houdt verband met de vroegere tichelwerken, waar deze klei werd gedolven.

Op de Geologische Kaart wordt het fijnkorrelige pakket aangeduid met het symbool II 3′ en beschouwd als fluvioglaciale afzettingen uit het Riss-interstadiaal, afzettingen uit smeltwater vóór het front van het naderend landijs.

Deze stratigrafische omschrijving is juist, indien althans de grove zone werd gevormd in de aanvangsfase van het Riss-glaciaal (Riss I), zoals voor de Geologische Kaart werd aangenomen („Hoogterrasafzettingen", II I).

Brouwer [2] toonde echter in 1948 aan, dat in noordelijk Nederland de hoogterrasafzettingen niet in de aanvangsfase van het Riss-glaciaal werden gevormd, doch ouder zijn, terwijl hij voorts, op grond van pollen-analytisch onderzoek, aantoonde, dat het II 3′ noch naar tijd van ontstaan, noch naar herkomst van het materiaal, een eenheid vormt.

De volgende vragen doen zich nu dus voor:

a. Hoe en wanneer ontstonden de depressies, waarin het II 3′ (met de potkleilagen dus) werd afgezet?

b. Hoe en wanneer werden deze depressies opgevuld?

Voor de beantwoording betrok Brouwer in de eerste plaats de ligging dezer kleilagen in zijn onderzoek.

Op een overzichtskaartje [3] gaf hij de boringen in Noord-Nederland aan, waarin het fijnkorrelige pakket II 3′ een dikte heeft van 70 m of meer.

Deze voorkomens blijken in 3 stroken te liggen, nl.:

1. Van Dronrijp over Oudega naar Assen-Borger;
2. Van Assen-Borger over Veendam naar Winschoten;
3. Van Winschoten over Winneweer naar Pieterburen.

---

[1] De Bodem van Nederland II; 1856—1860, p. 61.
[2] A. Brouwer: „Pollenanalytisch en geologisch onderzoek van het onder- en middenpleistoceen van Noord-Nederland". Dissertatie Leiden, 1948.
[3] Idem blz. 236.

Uit profielen van STEENHUIS [1] blijkt reeds, dat de kleivoorkomens van Dronrijp en Oudega tot een doorlopende reeks behoren (combinatie van de profielen III, IV en IX).

Terwijl nu in boringen in de omgeving van Dronrijp op een diepte van 43 tot 64 m een marine inschakeling voorkomt — gevolg van de middenplistocene transgressie (2e helft Mindel-Riss interglaciaal) — ontbreekt deze in de 150 m diepe boring te Dronrijp.

In deze boring volgt onder de keileem (van 18—44 m) tot 130 m klei, daaronder, tot de einddiepte van 150 m, fijn zand.

Op grond van het feit voorts, dat de keileem nog slechts een zeer zwakke depressie vertoont (gemakkelijk op rekening te schuiven van iets grotere klink in het kleigebied dan van de voornamelijk zandige ondergrond daarbuiten), kwam BROUWER tot de conclusie, dat de klei werd afgezet in een erosiegeul, waarvan de vorming zowel als de opvulling plaats vond tussen de Mindel-Riss interglaciale transgressie en de komst van het landijs.

Ook onder Assen en Winschoten volgen onder het keileemniveau fijne zanden met zeer dikke kleilagen, die bij Winschoten aan de oppervlakte komen. Pollenanalytisch zijn deze kleien gelijk aan die van Oudega en Dronrijp. Ofschoon dit niet véél zegt (alle kleien in dit gebied, ook de oudere, vertonen pollenanalytisch eenzelfde beeld, met nogal veel verplaatst tertiair pollen) was BROUWER geneigd de kleivoorkomens van Dronrijp en Oudega in verbinding te brengen met die van Assen en Winschoten — via Drachtstercompagnie, Marum, Veenhuizen — ook al is in tussengelegen boringen de klei niet altijd even dik en zet de geul zich ten westen van Dronrijp niet voort.

Wèl zijn er aanwijzingen voor een voortzetting in oostelijke richting — via Zuidlaren, Veendam — naar Winschoten en van hier in noordelijke richting. Of nu deze door BROUWER gegeven oplossing om de verschillende voorkomens van zeer dikke kleilagen met elkaar te verbinden — door hemzelf destijds ook niet meer dan een eerste poging genoemd en momenteel op grond van enkele nieuwere gegevens door hem betwijfeld — juist is en zo niet, hoe dan wèl het verloop van deze kleilagen is, zal door verder onderzoek moeten worden nagegaan.

Volledigheidshalve zij nog vermeld, dat in het besproken gebied behalve het genoemde, nog een tweede, ouder geulensysteem, aanwezig is. Onder Sneek, Bergumerheide, Drouwen en andere plaatsen komen nl. ook nog dikke kleipakketten voor onder de grove afzettingen van de middenplistocene transgressie (2e helft Mindel-Riss interglaciaal).

De verdere voortzetting van de afzonderlijke kleivoorkomens te localiseren met behulp van boringen — waarvan er, gezien de min of meer abrupte vormen, vele nodig zouden zijn — zou uiteraard zeer kostbaar zijn.

Het lijkt echter niet uitgesloten, dat de geo-electrische weerstandsmethode hier resultaten kan geven. Uit de profielen van STEENHUIS blijkt, dat op een aantal plaatsen

---

[1] Dr J. F. STEENHUIS: „De geologische bouw en geschiedenis van de ondergrond der provincie Friesland". Bijlage XI van het „Rapport betreffende een centrale drinkwaterleiding voor de provincie Friesland" 1919.

de klei rust op matig grove of grove zanden met grind, in welke gevallen verwacht mag worden, dat het verschil in electrische weerstand tussen het fijnzandige II 3′ (waarin de potklei) en de steunlagen voldoende groot is om langs geo-electrische weg het scheidingsvlak te bepalen. Uiteraard dienen daarbij de metingen steeds te worden aangesloten aan de aanwezige boringen, terwijl voorts mogelijk één of meer nieuwe boringen dienen te worden gemaakt, waarin door electrisch kernen de weerstand van de afzonderlijke lagen wordt gemeten. De gunstigste plaatsen voor deze boringen kunnen op grond van de met de weerstandsmethode verkregen resultaten worden bepaald. Stellig zullen ook moeilijkheden zijn te verwachten, b.v. in verband met een hoog chloridegehalte van het grondwater, waardoor de weerstand van klei en grove zandlagen mogelijk van dezelfde orde van grootte zal zijn.

Een nadere kartering van de genoemde kleivoorkomens is niet alleen uit geologisch oogpunt van belang, doch ook economisch, nl. in verband met een inventarisatie van de kleien in Nederland, waarvoor zowel bij de Regering als bij de steenindustrie belangstelling bestaat. Daarbij kunnen de kleien in 3 groepen worden ingedeeld, nl.:

1. De kleien in de uiterwaarden van de grote rivieren;
2. De oppervlaktekleien (waaronder de jonge zeeklei in Friesland en Groningen);
3. De dieper gelegen kleien, waartoe dan de besproken voorkomens behoren, alsmede de nog te bespreken kleien in westelijk Noord-Brabant.

Dat een zelfs betrekkelijk diepe ligging van de klei geen beletsel behoeft te zijn voor een economisch verantwoorde ontginning, blijkt b.v. uit de kleivoorkomens bij Tegelen, waar een grondverzet tot een 15 m diepte of meer nodig is om de betrekkelijk dunne kleilagen te kunnen exploiteren.

Het tweede probleem, dat ik wil noemen, is het voorkomen van:

2. Kleilagen van oud-plistocene ouderdom in westelijk Noord-Brabant in de omgeving van Bergen op Zoom

In de hoge gronden tussen Bergen op Zoom en Roosendaal komt het oud-Plistoceen (Tiglien) aan de oppervlakte voor in de vorm van fluviatiele en/of eolische, fijne tot zeer fijne zanden, vaak afgedekt door een laag jong-plistoceen dekzand of holoceen stuifzand. Dit continentale oud-Plistoceen heeft hier een dikte van ca 45 m en bevat, behalve de genoemde fijne zanden, ook herhaaldelijk lemige zanden, leemlagen en humeuze leem- en kleilagen (welke pollen bevatten, met behulp waarvan de oud-plistocene ouderdom is vastgesteld). Op een diepte van ca 45 m gaan de continentale lagen over in marien oud-Plistoceen (Icenien).

Uit een in 1953 ingesteld voorlopig onderzoek door de Stichting voor Bodemkartering te Wageningen en de Geologische Dienst te Haarlem, in verband met een inventarisatie van de kleien ten behoeve van de steenindustrie is gebleken, dat de leem- en kleilagen zeer onregelmatig in en tussen de zanden zijn verdeeld en alle overgangen vertonen tussen zand en vette klei; zij kunnen voorkomen op elke diepte tot 45 m en verraden in hun verbreiding de grootst mogelijke onregelmatigheid,

zelfs in dicht bij elkaar gelegen boringen. Over het verloop van de kleilagen tussen de boorpunten valt nog weinig of niets te zeggen.

Of een correlatie van de in de boringen aangetoonde kleilagen met behulp van de weerstandsmethode mogelijk zal zijn, is in verband met het economisch belang van een nadere inventarisatie ten behoeve van de steenindustrie stellig waard te worden onderzocht.

Zeer waarschijnlijk echter zullen de kleien zich, wat electrische weerstand betreft, weinig onderscheiden van de fijne zanden waartussen zij voorkomen, zodat een gunstig resultaat van de metingen niet zonder meer mag worden verwacht.[1]

Een volgend probleem, hetwelk zowel in geologisch als in hydrologisch opzicht van belang is, vormen de:

3. Storingen in Limburg en Noord-Brabant

Tijdens de oorlog 1940—1945 was karteerwerk in het buitenland voor studenten in de geologie onmogelijk. Uit deze nood werd, met hulp van de B.P.M. en de Staatsmijnen, een uitgebreid zwaartekrachtsonderzoek van de ondergrond van Limburg en Noord-Brabant geboren. Doel hiervan was een zo goed mogelijk structureel beeld te geven van de diepere lagen van Limburg en Oost- en Midden-Noord-Brabant, als basis voor toekomstige exploratie.

De resultaten van dit onderzoek werden neergelegd in het „Eindverslag van het geophysische onderzoek in Z.O.-Nederland, 1949".

Ten einde de verkregen gegevens omtrent de diepere tektoniek aan te vullen met gegevens omtrent de tektoniek van de jongere lagen werd door Zonneveld [2] een vooral sediment-petrografisch onderzoek verricht.

Sedert kort wordt voorts seismisch gewerkt in dit gebied, ten behoeve van het Peelonderzoek, in verband met de toekomstige exploitatie van de steenkolenlagen in de ondergrond.

Uit de genoemde onderzoekingen blijkt, dat in het algemeen overeenstemming wordt gevonden tussen de storingen, door het geophysisch onderzoek aangetoond in de oppervlakte van het Carboon, en de op grond van sediment-petrografisch onderzoek van ondiepe boringen aangetoonde dagzomen.

Echter komen op een aantal plaatsen afwijkingen voor, waarvoor verschillende oorzaken aan te geven zijn, b.v.:

a. Het kan voorkomen, dat een breuk, welke in het Carboon werd aangetoond, zich niet in de jongere lagen voortzet, b.v. doordat — locaal — langs deze breuken in postcarbonische tijd tektonische rust heerste.

---

[1] Uit een voorlopig geo-electrisch onderzoek bij Ossendrecht, van 10 tot 16 Mei 1954 uitgevoerd door het Laboratorium voor Geophysica van de Technische Hogeschool te Delft, onder leiding van Prof. O. Koefoed, is intussen gebleken, dat een zeer duidelijk weerstandscontrast bestaat tussen de kleilagen en de zanden, zodat de vraag naar de mogelijkheid van toepassing van de geo-electrische methode voor dit onderzoek bevestigend kan worden beantwoord.

[2] J. I. S. Zonneveld: „Het Kwartair van het Peelgebied en de naaste omgeving". Dissertatie Leiden 1947.

b. De diepe ligging van het Carboon kan oorzaak zijn, dat een storing met geringe spronghoogte door zwaartekrachts- en seismisch onderzoek niet werd aangetoond, terwijl de dagzoom op grond van de ondiepe boringen in het Kwartair wèl werd gevonden, ten gevolge van lithologische verschillen ter weerszijden van de breuk.

c. De storingen in het Kwartair werden getraceerd op grond van een veelal wijd net van boringen, zodat de ligging van de dagzomen niet geheel zeker is;

d. Hoogteverschillen in b.v. bepaalde grindniveaux, aangetoond op grond van ondiepe boringen, behoeven niet altijd een gevolg te zijn van tektonische bewegingen; zij kunnen ook ontstaan zijn door terrasvorming.

Ter illustratie van de afwijkingen, welke kunnen voorkomen, mogen 2 kaartjes dienen van het zuidelijke Peelgebied, ten noordoosten van Eindhoven, voorkomend in genoemd „Eindverslag van het geophysische onderzoek in Z.O.-Nederland" (blz. 235, fig. 72a en 72b). Op het bovenste zijn de tektonische lijnen weergegeven op grond van het sediment-petrografisch onderzoek van ZONNEVELD, op het onderste de tektonische lijnen, verkregen door de toppen van de opeenvolgende gradiëntenkrommen van het zwaartekrachtsonderzoek te verbinden.

Het heeft geen zin nader in te gaan op de verschillen tussen beide kaartjes en de mogelijke oorzaken hiervan.

Op grond van de grote diepte van het Carboon (op de Peelhorst, ten westen van de Maas, minstens 600 m, in de Roerdalslenk, ten westen van de Maas, een paar duizend meter) is het zeer onwaarschijnlijk te achten, dat breuken in deze formatie langs geo-electrische weg zullen kunnen worden aangetoond. Wèl echter mogen, voor bepaalde gevallen, resultaten verwacht worden voor een nadere precisering van de ligging der breuken in het Kwartair, voor zover althans de lithologische verschillen ter weerszijden van de storingen óók tot verschillen in electrisch geleidingsvermogen aanleiding geven.

Als voorbeeld hiervan zij genoemd de storing van Beegden (zie ZONNEVELD, blz. 194). In de boring Horn in de slenk van Roermond gelegen, ligt de basis van de zone van Veghel op ca 2 m — A.P., in het gebied van Stevensweert en Montfort en Beegden echter ligt de basis van de aldaar gecombineerd voorkomende zones van Veghel en Horn op 10 à 14 m + A.P.

Op grond van een aantal boringen tekent ZONNEVELD het verloop van de storing als aangegeven op zijn kaart (ZONNEVELD, bijlage 1). De storing verloopt dus evenwijdig aan de Peel-randbreuk, doch schijnt bij Leveroy iets naar het westen om te buigen. Direct ten noordwesten van dit punt kan het verloop moeilijk worden bepaald ten gevolge van het ontbreken van voldoende gegevens.

Bij Budel werd op grond van enige boringen een storing aangenomen, welke zeer waarschijnlijk ten noorden van Weert kan worden vervolgd en mogelijk de voortzetting van de storing van Beegden vormt.

Zoals uit de profielen van de boringen Beegden en Horn blijkt, bestaat vanaf ca 29 m — m.v. (d.i. ca N.A.P.), ter weerszijden van de storing een groot verschil in lithologie.

In de boring Beegden volgt onder een ca 13 m dik pakket van fijne slibhoudende zanden (zanddiluvium) een pakket matig grove tot grove zanden (gecombineerde zones van Horn en Veghel en vermoedelijk een deel van de zone van Sterksel) ter dikte van ca 16 m, rustende op fijne, slibhoudende zanden (Plisto-Plioceen), welke op de einddiepte van 52,5 m nog niet waren doorboord.

In de boring Horn, gelegen in de slenk van Roermond, volgt onder het pakket fijne slibhoudende zanden (zanddiluvium), ter dikte van ca 8,5 m, een zeer dik pakket grove en matig grove zanden met grind (zones van Horn, Veghel en Sterksel en continentaal Plioceen), hetwelk tot 108 m — m.v. reikt en rust op een laag klei ter dikte van 6 m, waaronder fijn, slibhoudend zand volgt (Plioceen).

Geo-electrisch zullen beide profielen verschillend reageren.

Een weerstandsmeting ter plaatse van de boring Beegden zal bij toenemende electrodenafstand (waarbij de meetinrichting evenwijdig aan de storing dient te worden gekozen) reeds vrij spoedig een afneming van de schijnbare weerstand vertonen.

Ter plaatse van de boring Horn zal dit pas plaatsvinden bij een veel grotere electrodenafstand.

Ten einde de juiste plaats van de storing te bepalen, worden met gelijkblijvende electrodenafstand metingen verricht in een richting loodrecht op de storing. Wij krijgen dan 5 gevallen, welke ieder een karakteristieke kromme geven, nl. achtereenvolgens vier, drie, twee, een electrode links van de storing en alle vier electroden rechts van de storing.

De vorm van de krommen werd U reeds getoond in de voordracht van Dr BAARS voor het geval van een loodrechte storing. In de meeste gevallen zal het breukvlak een bepaalde helling bezitten, zodat de vorm van de krommen enigszins anders zal zijn. De mogelijkheid bestaat uit de gemeten krommen de helling van het breukvlak te bepalen op grond van modelproeven, zoals door Dr BAARS werd besproken.

Hydrologisch kan het nauwkeurig bepalen van de ligging van storingen van belang zijn. In de eerste plaats zal men moeten vermijden, dat pompputten geplaatst worden in de storingszone, omdat hierin versmering van de lagen kan optreden, waardoor de doorlatendheid is verminderd.

Voorts bestaat de mogelijkheid, dat aan de ene zijde van de storing geen of slechts weinig geschikte watervoerende lagen voorkomen of wel, dat het watervoerende pakket aan de ene zijde op grote diepte voorkomt, in welk geval de boorkosten voor het maken van pompputten hoog zullen zijn. Ten slotte kan de chemische samenstelling van het grondwater aan weerszijden van de storing verschillend zijn.

Voor de keuze van de plaats voor een pompstation is derhalve kennis van de juiste ligging van storingen van belang. Deze juiste ligging aan te tonen met behulp van boringen zou uiteraard zeer kostbaar worden en veel tijd vergen. De geo-electrische methode kan hier op snelle wijze de nodige gegevens verschaffen.

4. STRATIGRAFISCHE PROBLEMEN

Een volgende soort problemen heb ik stratigrafische problemen genoemd, welke echter evenals trouwens de vorige ook hydrologisch van belang zijn.

a. Winterswijk

In de Achterhoek komt het Tertiair aan of tot dicht aan de oppervlakte voor en wel in het oostelijk deel het Oligoceen, hetwelk naar het westen toe bedekt wordt door Mioceen en Plioceen.

De dikte van het kwartaire dek — keileem II 3 en fluvioglaciale zanden II 4 — bedraagt maximaal ± 10 m.

Uit boringen van de vroegere Rijksopsporing van Delfstoffen en van de Waterleiding van Winterswijk is echter gebleken, dat ten westen van Winterswijk in de tertiaire ondergrond een soort geul voorkomt, een depressie, opgevuld met postmiocene sedimenten.

Globaal neemt de diepte van het Tertiair toe van de randen naar het midden en wel maximaal tot ca 60 à 70 m — m.v.

In het noorden vertakt de geul zich. Zowel naar het noorden als naar het zuiden neemt de diepte van het Tertiair in de geul af.

Uit boorprofielen blijkt, dat de tertiaire ondergrond bestaat uit klei, leem en fijn, glauconiethoudend zand.

De geul is, althans ter plaatse van de waterwinplaats van de Gemeentewaterleiding Winterswijk, opgevuld met grove en fijnere zandlagen, terwijl op een diepte van ca 20 m— m.v. een 2 à 3 m dikke kleilaag voorkomt. De grovere zandlagen zijn geschikt gebleken voor wateronttrekking. De Gemeentewaterleiding van Winterswijk onttrekt nabij Corle het water aan de grove zandlagen beneden de genoemde kleilaag.

Het aantal boorpunten binnen de geul is slechts zeer gering, zodat de vorm en diepte van het oppervlak van het Tertiair ook slechts met zeer geringe nauwkeurigheid bekend zijn.

Het voorkomen van grove lagen op zeer fijnzandige lagen en kleien wettigt de verwachting, dat met behulp van de electrische weerstandsmethode een nader inzicht in de aard van deze geul in het Tertiair zal kunnen worden verkregen. Dit kàn van belang zijn in verband met de grondwaterwinning, het is stellig van belang uit zuiver geologisch oogpunt, waarop ik nog nader zal ingaan aan het einde van mijn voordracht.

Een soortgelijke situatie als bij Winterswijk komt voor onder

b. Eibergen

Hier bestaat de tertiaire ondergrond uit fijne zanden, die gewoonlijk tot het Plioceen worden gerekend en kleien, veelal gerekend tot het Mioceen. De bovenzijde van dit tertiaire pakket vertoont een vrij sterk reliëf, hetwelk de indruk maakt van een vertakt dalsysteem.

Boven de tertiaire afzettingen en wel vooral in de dalvormige depressie, bevindt zich een in hoofdzaak grofzandig pakket, dat plaatselijk lemige partijen of gelaagde kleien bevat. Het onderste deel kan worden gerekend tot het II 1 (hoogterras) dan wel tot het II 0 (praeglaciaal ouder dan het hoogterras). Hierop rust het II 3′, praemorainaal fluvioglaciaal. Dit wordt bedekt door keileem, II 3, waarvan de verbreiding eveneens hoofdzakelijk is gebonden aan de dalvormige depressie. Naar boven toe

volgen dan fijne en grovere zanden van het fluvioglaciaal II 4, een lemige laag (Eemafzetting in terrestrische facies, II 8′; Riss-Würm interglaciaal) en ten slotte de zanden van de postglaciale dalopvulling II 8. Deze gegevens zijn ontleend aan boringen ten behoeve van het pompstation Eibergen van de Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland. De profielen en hoogtelijnen van het oppervlak van het Tertiair werden samengesteld naar aanleiding van een voorgenomen uitbreiding van het pompstation. Behalve ter plaatse van de waterwinplaats is het aantal boringen, op grond waarvan de hoogtelijnen van het tertiairoppervlak werden getekend, slechts beperkt. Het voorkomen van grove zandlagen of fijnzandige en klei-afzettingen wettigt ook hier de verwachting, dat de weerstandsmethode kan bijdragen tot een nadere detaillering van het verloop van de depressie, zowel ten nutte van de waterwinning als van de geologische kennis.

Een volgende mogelijkheid van toepassing van de weerstandsmethode is het bepalen van:

5. DIKTE EN MEER OF MINDERE DOORLATENDHEID VAN WATERVOERENDE LAGEN

Als voorbeeld daarvan noem ik de Hoogterrasafzettingen, op de Geologische Kaart aangeduid met het symbool II 1. Deze afzettingen zijn veelal ontwikkeld als grove zanden met grind en daardoor bij uitstek geschikt voor wateronttrekking. Niet altijd is de dikte van deze afzettingen over grote uitgestrektheid uniform. Op vele plaatsen wisselt de dikte aanzienlijk over soms korte afstanden. Indien in een dergelijk geval aan dit pakket water moet worden onttrokken, hetzij voor een nieuw te stichten pompstation, hetzij voor uitbreiding van een bestaand, dan is het uiteraard van belang het juiste verloop van de dikte van de watervoerende laag over een grote uitgestrektheid te kennen, opdat de pompputten niet juist daar geboord worden, waar de laag dun is, of niet later blijkt, dat in de wijdere omgeving van de geboorde putten de dikte van de watervoerende laag zodanig vermindert, dat de watertoevoer te gering is, zodat de capaciteit van de putten sterk terugloopt.

Als voorbeeld van dergelijke dikteverschillen kan worden genoemd de ondergrond in de omgeving van het in aanbouw zijnde pompstation Helden-Panningen ten behoeve van de Waterleidingmaatschappij Noord- en Midden-Limburg.

In de eerstgeboorde proefpompput P_p bleek de dikte van het watervoerende pakket ca 7 m te bedragen. In de vervolgens geboorde peilputten W I, W II, W III, bedroeg de dikte respectievelijk slechts ca 3 m, 6 m en 5 m. De definitieve pompputten werden derhalve in de tegenovergestelde richting uitgezet. De resultaten bleken, hoewel dit niet kon worden voorzien, gunstig. De dikte van het watervoerende pakket bedroeg respectievelijk 7 m, 11,5 m en 8,5 m.

In dergelijke gevallen is een voorafgaand electrisch onderzoek ter verkenning van het terrein, ook in de wijdere omgeving van de plaats van het pompstation, stellig op zijn plaats. Een dergelijk onderzoek kan in korte tijd worden verricht met geringe kosten.

Gezien het grote verschil in korrelgrootte tussen watervoerend pakket en steunlagen en de geringe diepte van het grensvlak daartussen, mag een alleszins voldoend nauwkeurig resultaat worden verwacht.

Behalve de dikte van het watervoerende pakket kan ook de doorlatendheid van plaats tot plaats sterk wisselen, zodat bij het boren van pompputten de ene put een grote capaciteit blijkt te hebben, terwijl een op korte afstand daarvan geboorde put weinig of geen water levert. Dit was het geval „ergens" in het zuiden van ons land, waar een groot bedrijf voor haar watervoorziening zelf putten boort in rivierterrasafzettingen. Ook hier kan geo-electrisch onderzoek teleurstellingen voorkomen. In een dergelijk geval worden van de ondergrond weerstandskaarten gemaakt voor verschillende electrodenafstanden, dus voor verschillende diepten beneden maaiveld, zoals door Dr HALLENBACH in zijn voordracht werd besproken. Geringe electrische weerstand wijst op groter slibgehalte, dus geringere doorlatendheid.

Als laatste te bespreken probleem noem ik het bepalen van de

6. GRENS TUSSEN ZOET EN ZOUT WATER

Nà de voordrachten van Dr HALLENBACH en Ir HOUTSMA is het niet nodig nader in te gaan op de mogelijkheid van het bepalen van de grens tussen zoet en zout water.

Deze grens is in het duingebied langs onze kust nader bekend geworden uit de talrijke boringen ten behoeve van de waterleidingmaatschappijen van de provincie Noord-Holland (P.W.N.), Amsterdam, Haarlem, Leiden en 's-Gravenhage, hetgeen niet uitsluit, dat in bepaalde gevallen voor een nadere detaillering het geo-electrisch onderzoek goede diensten zal kunnen bewijzen.

Veel minder is echter bekend over het verloop van de zoet-zoutwatergrens, zowel in verticale als in horizontale zin in Friesland en Groningen. Een nauwkeuriger kennis hiervan is in verband met de vernieuwing van de geologische kaart, waarover ik U nog iets zal zeggen, van belang te achten, mede omdat het in de bedoeling ligt aan deze nieuwe kaart ook hydrologische gegevens te verbinden, zoals dit in vele andere landen reeds wordt gedaan.

Uit de voordrachten van Dr HALLENBACH en Ir HOUTSMA is duidelijk het belang van electrische weerstandsmetingen gebleken als hulpmiddel bij geologisch en hydrologisch onderzoek.

Bij de door mij genoemde problemen, waarbij weerstandsmetingen mogelijk kunnen bijdragen tot het vinden van een oplossing, heb ik aangegeven om welke redenen dit belangrijk is. Voor zover daarbij als reden werd opgegeven „verruiming van de geologische kennis", wil ik daaraan nog het volgende toevoegen. Het zal velen van U bekend zijn, dat enige tijd geleden een aanvang werd gemaakt met de herziening van de geologische kaart van Nederland, welke sterk verouderd is ten gevolge van de vele nieuwe inzichten, welke werden verkregen door de toepassing van nieuwe methoden van onderzoek als b.v. pollenanalyse, sediment-petrografisch onderzoek, grindonderzoek e.d.

Een goede geologische kaart is niet alleen wetenschappelijk van belang doch óók economisch. In dit verband noemde ik U reeds de klei-inventarisatie; hieraan kan worden toegevoegd de inventarisatie van vormzanden, van zanden voor wegenaanleg, van grindvoorkomens, voorts het opsporen van nuttige delfstoffen als steenkool (denkt U slechts aan het Peelonderzoek), zout, anhydriet en ertsen (Zuid-Limburg).

De grondslag voor al dit onderzoek is steeds de geologische kaart. Dat het economisch belang daarvan ook door de Regering wordt ingezien, moge blijken uit de voor dat doel door het Ministerie van Economische Zaken toegekende verhoogde subsidie aan de Geologische Stichting.

Er is daarom alle reden elke methode van onderzoek, die kan bijdragen tot verruiming van de geologische en vanzelfsprekend ook van de nauw daarmede samenhangende hydrologische kennis, toe te passen. Vele nieuwe methoden zijn in de laatste jaren tot ontwikkeling gekomen en toegepast. Moge ook weldra het geo-electrisch onderzoek daartoe behoren. De fraaie resultaten door de Dienst der Zuiderzeewerken in de afgelopen jaren daarmede bereikt, hebben overtuigend aangetoond wat kan worden bereikt.

Er rest mij nog een belangrijk punt ter sprake te brengen, nl.: waarom het wenselijk, zo niet noodzakelijk geacht wordt, het geo-electrisch onderzoek bij T.N.O. onder te brengen.

Ik kan daarover het volgende zeggen.

Het principe van de geo-electrische methode is sedert lang bekend. Men zou dus van mening kunnen zijn, dat elke dienst of instelling, die deze methode wenst toe te passen, zich nu maar een apparatuur behoeft aan te schaffen om de nodige metingen te kunnen uitvoeren.

Zo eenvoudig ligt de zaak echter niet. In de eerste plaats is het de vraag of bij elke dienst of instelling voldoende onopgeloste problemen sluimeren, waarbij de weerstandsmethode kan bijdragen tot het vinden van de oplossing, om de aanschaffing van een eigen apparatuur en de aanstelling van het benodigde personeel te rechtvaardigen.

Dit zou echter nog zijn te regelen door gezamenlijk de benodigde apparatuur aan te schaffen en personeel aan te stellen. Er is echter een belangrijker reden, welke het voor diensten of instellingen met een uitvoerende en/of adviserende taak, zoals b.v. de Geologische Stichting en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, bezwaarlijk maakt, elk voor zich of gezamenlijk geo-electrisch onderzoek te entameren. Populair gezegd, is het nl. nog niet zo, dat men het instrument maar uit de kast haalt, meet, interpreteert en het instrument weer wegsluit tot een volgende keer.

Uit de voordracht van Dr BAARS is U wel gebleken, dat nog vele problemen daarbij om oplossing vragen. Zo is b.v. het 2- en 3-lagenprobleem wèl opgelost voor horizontale lagen, echter niet voor hellende lagen. Wèl is de oplossing bekend voor verticale breukvlakken, niet echter die voor hellende breukvlakken.

Bij beide problemen zouden modelproeven tot een oplossing kunnen bijdragen. Dr BAARS heeft deze reeds genoemd voor het geval van een hellend breukvlak.

Het electrisch kernen wordt reeds sinds jaren toegepast voor practisch alle olieboringen, doch in de olie-industrie wordt een andere boormethode toegepast dan bij geologische verkenningsboringen en boringen ten behoeve van hydrologisch onderzoek, nl. het rotary-boorsysteem, welk het mogelijk maakt het electrisch kernen uit te voeren in het onverbuisde boorgat, hetwelk met dikspoeling is gevuld ten einde instorten van de wanden te voorkomen.

De boringen ten behoeve van geologisch en hydrologisch onderzoek worden echter uitgevoerd als pulsboringen, waarbij de bekledingsbuis geregeld nazakt, zodat het boorgat niet voor kortere of langere tijd onbekleed blijft. Er zal derhalve een oplossing moeten worden gezocht om een pulsboring electrisch te kernen.

Er is dus nog een belangrijke experimentele kant aan het geo-electrisch onderzoek. Dit is dan ook de reden, waarom gedacht is het geo-electrisch onderzoek organisatorisch in te voegen in de Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek en dan meer in het bijzonder — gezien het geo-hydrologisch aspect van het onderzoek — als onderdeel van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O.

DISCUSSIE

Prof. KOEFOED: Als tweede te onderzoeken probleem heeft spreker de oud-plistocene leemlagen in westelijk Noord-Brabant genoemd. Is het grondwater daar sterk verzilt?

ANTWOORD: Neen, dus hiervan zijn geen moeilijkheden te verwachten. Het verloop van de leem- en kleilagen is echter zo grillig en het verschil in weerstand tussen deze lagen en de aanwezige fijnzandige lagen zal zo klein zijn, dat betwijfeld moet worden of de geo-electrische methode hier bruikbaar is. Toch verdient het aanbeveling althans een poging te wagen in verband met het belang van een klei-inventarisatie ten behoeve van de steenindustrie.

Ir DE JOSSELIN DE JONG: In aansluiting aan hetgeen door de heer BELTMAN gezegd is over de verticale contrôlemetingen door electrisch kernen in boorgaten moge de aandacht er op worden gevestigd, dat het Laboratorium voor Grondmechanica in de vorm van sonderingen gemakkelijk een verticale Wenner-opstelling op diepte kan brengen. Er zijn op deze wijze op geringe diepte specifieke weerstanden gemeten, die zeer goed overeenkwamen met proeven in het laboratorium. Sonderingen kunnen echter gemakkelijk tot 20–30 m diepte worden voortgezet.
In dit verband kan men ook aan de mogelijkheid denken om meer te weten te komen over het poriëngehalte van de grond door metingen van de specifieke weerstand van het samenstel van grond en water in situ met behulp van mesvormige electroden en het ontnemen van poriënwater ter plaatse via een filter in de buis, waaraan weerstandsmetingen in de sondeerbuis op diepte kunnen worden uitgevoerd.

ANTWOORD: Het is stellig van belang te zijner tijd deze mogelijkheden nader te bestuderen. Uiteraard zal men echter het electrisch kernen ook tot grotere diepten dan 20 à 30 m willen uitvoeren.
Het lijkt inderdaad niet uitgesloten met behulp van de weerstandsmethode, uitgevoerd zowel aan de oppervlakte als in een boorgat, meer te weten te komen inzake het poriëngehalte van de ondergrond.

Ir VISSER: Bij grote objecten van onderzoek zal meestal wel een voldoende financiële achtergrond aanwezig zijn. Landbouwkundige onderzoekingen zijn veelal te klein, zodat hiervoor steun van de Overheid nodig zou zijn. Spreker verwacht, dat het Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening wel te interesseren zal zijn voor het bevorderen van geo-electrisch bodemonderzoek. Wellicht kan het boorprogramma van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. gecombineerd worden met deze wijze van onderzoek.

ANTWOORD: Steun van de Overheid zal dan waarschijnlijk steun van de Landbouworganisatie T.N.O. betekenen.

Dr THIADENS:

1. Als verdere objecten, die voor onderzoek in aanmerking zouden komen, vallen nog te noemen de klei- en mergellagen in Zuid-Limburg en voorts de grondwaterniveaux.
2. Is er uitzicht op een spoedige voortgang van het geo-physisch bodemonderzoek in Nederland. Hoe is Uw programma?

ANTWOORD: Het ligt in de bedoeling een werkgroep te vormen, waarin zitting hebben vertegenwoordigers van o.a. de Dienst der Zuiderzeewerken, de Geologische Stichting, het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., het Geo-physisch Laboratorium der Afdeling Mijnbouw van de T.H., het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de B.P.M.
Daarnaast zal het nodig zijn een physicus aan te stellen voor de meettechnische zijde van het onderzoek en voor de mathematische zijde van de interpretatie. Voorts zal hulppersoneel en materieel moeten worden verkregen. Tevoren zal echter hiervoor de nodige financiële steun dienen te zijn verkregen.

Dr TROMP: Het is te verwachten, dat de Nederlandsche Spoorwegen belangstelling voor bodemelectrisch onderzoek zullen hebben uit hoofde van het feit, dat op bepaalde punten van het geëlectrificeerde spoorwegnet herhaaldelijk de bliksem inslaat zonder dat daarvoor de directe oorzaak is aan te wijzen. Uit eigen onderzoekingen, gesteund door waarnemingen in het buitenland, is gebleken, dat deze plaatsen met verhoogde frequentie van blikseminslag samenvallen met stroken in het terrein met hoog bodemgeleidingsvermogen.

V. HET VERDAMPINGSONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER

GEDURENDE DE JAREN
1947 TOT EN MET 1952

L. J. L. DEIJ
S. B. HOOGHOUDT (†)
J. H. M. LATOUR
P. K. PEERLKAMP
A. H. STAM

INHOUD

Blz.

I. INLEIDING 211

II. DE METHODE VAN HET VERTICALE WATERDAMPTRANSPORT 216
1. Inleiding 216
2. Voorlopige metingen 216
3. Theoretische basis 217
4. Practische uitvoering van de berekening 219
5. Moeilijkheden met de psychrometers 221
6. Moeilijkheden met de anemometers 222
7. Nabeschouwing 223

III. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR DE GEHELE POLDER 224
1. Inleiding 224
2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans 224
3. Overzicht der meetresultaten 237

IV. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR VIER DRAINAGE-LYSIMETERVAKKEN 239
1. Algemeen 239
2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans 243
3. Overzicht der meetresultaten 249

V. SAMENVATTING EN CONCLUSIE 251
1. Samenvatting 251
2. Conclusie 251

LITERATUUR 254

I. INLEIDING

Tijdens de op 15 Februari 1946 gehouden Eerste Technische Bijeenkomst, belegd door de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., werden door een drietal sprekers uitvoerige mededelingen gedaan over het in voorbereiding zijnde onderzoek naar de verdamping van water uit cultuurgrond. Voor de uitvoering van dit onderzoek was de keuze gevallen op de in de gemeente Ten Boer (Groningen) gelegen Rottegatspolder, ter grootte van 86,6 ha (Zie *Verslagen Technische Bijeenkomsten* 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's Gravenhage 1952).

Voor het onderzoek, dat sedertdien met kracht ter hand is genomen, werd het volgende werkschema opgesteld:

a. voor de gehele polder zal de verdamping worden bepaald met behulp van de waterbalans;

b. voor een met gras begroeid in de polder gelegen terrein zal de verdamping worden bepaald met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport;

c. met behulp van een viertal op een bijzondere wijze ingerichte lysimeters, waarvan één te voorzien van een grasvegetatie en de overige drie te beplanten met een afzonderlijk gewas, zullen verhoudingscijfers voor de verdamping van verschillende gewassen worden vastgesteld.

Met het ten uitvoer brengen van dit werkschema beoogde de Werkcommissie zodanig waarnemingsmateriaal bijeen te brengen, dat de voor Nederland nog niet toegepaste methode van het verticale waterdamptransport op zijn bruikbaarheid kan worden getoetst.

In de loop van 1946 kwamen de ten behoeve van het onderzoek in de Rottegatspolder te treffen technische voorzieningen voor het merendeel gereed, zodat in de loop van 1947 met het onderzoek een aanvang kon worden gemaakt. De volgende paragrafen bevatten mededelingen over de ontwikkeling van het onderzoek en de hiermede bereikte resultaten.

De figuren 1a en 1b geven een algemeen overzicht van de polder en van de daarin ten behoeve van het onderzoek aangelegde werken en getroffen voorzieningen.

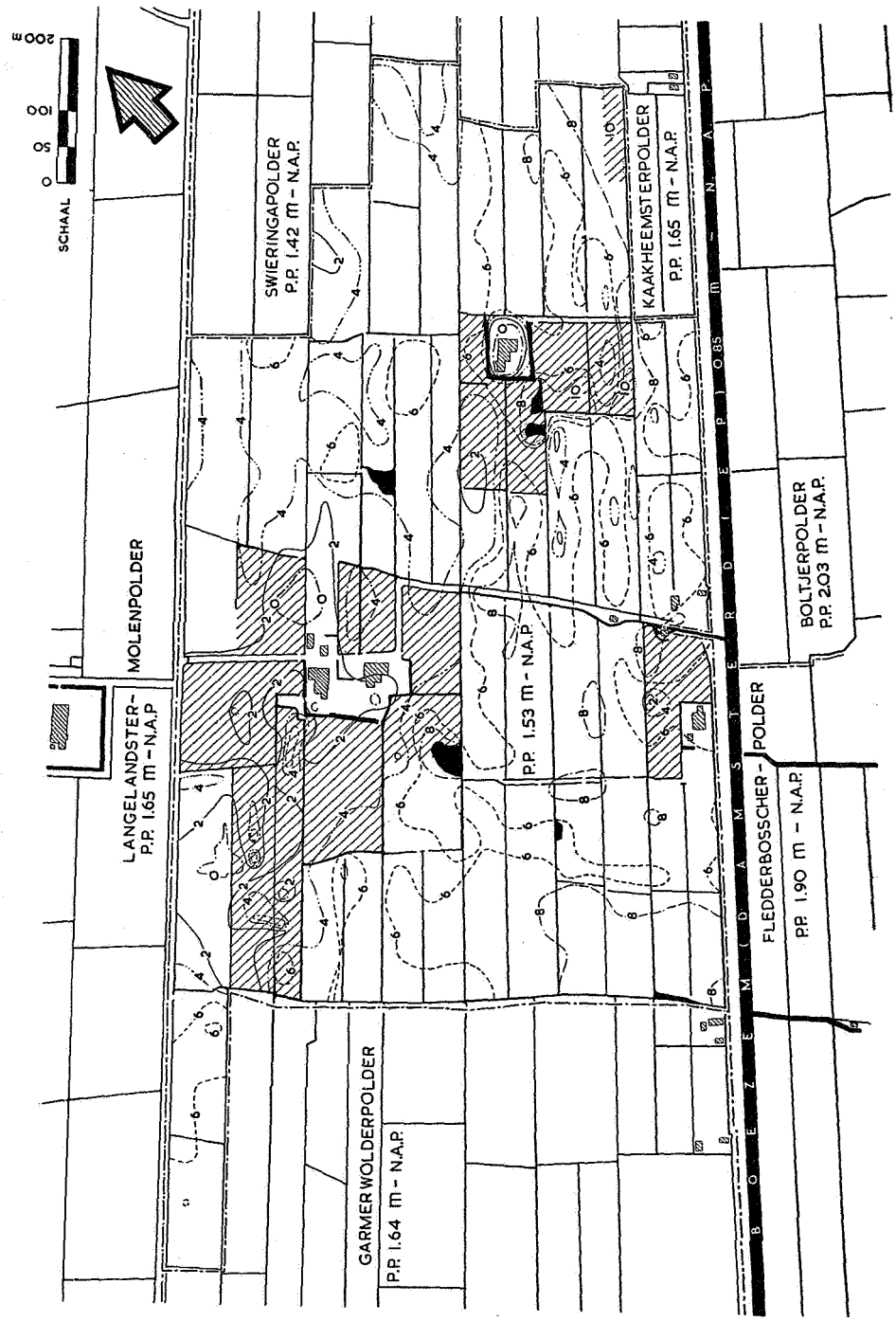

SCHAAL
0
50
100
200 m
SWIERINGAPOLDER
P.P. 1.42 m - N.A.P.
KAAKHEEMSTERPOLDER
P.P. 1.65 m - N.A.P.
MOLENPOLDER
LANGELANDSTER-
P.P. 1.65 m - N.A.P.
P.P. 1.53 m - N.A.P.
BOLTJERPOLDER
P.P. 2.03 m - N.A.P.
FLEDDERBOSSCHER-POLDER
P.P. 1.90 m - N.A.P.
GARMERWOLDERPOLDER
P.P. 1.64 m - N.A.P.
BOEZEM (DAMSTERDIEP) 0.85 m - N.A.P.

FIG. 1a. Overzichtstekening Rottegatspolder. (Topografie).

— · — · — · — = poldergrens
= *polder boundary*
= *limite du polder*

P.P. = polderpeil in m — N.A.P.
= *polder level in m — N.A.P.*
= *niveau du polder en m — N.A.P.*

Hoogtelijnen:
Altitude lines:
Courbes de niveau:

——— 0 ——— = N.A.P.
——— 2 ——— = 0.20 m — N.A.P.
——— 4 ——— = 0.40 m — N.A.P.
——— 6 ——— = 0.60 m — N.A.P.
— — · 8 — — · = 0.80 m — N.A.P.
····· 10 ····· = 1.00 m — N.A.P.

= grasland
= *grassland*
= *prés*

= bouwland
= *arable land*
= *champs cultivés*

FIG. 1a. *Survey drawing Rottegatspolder. (Topography).*

FIG. 1a. *Dessein général Rottegatspolder. (Topographie).*

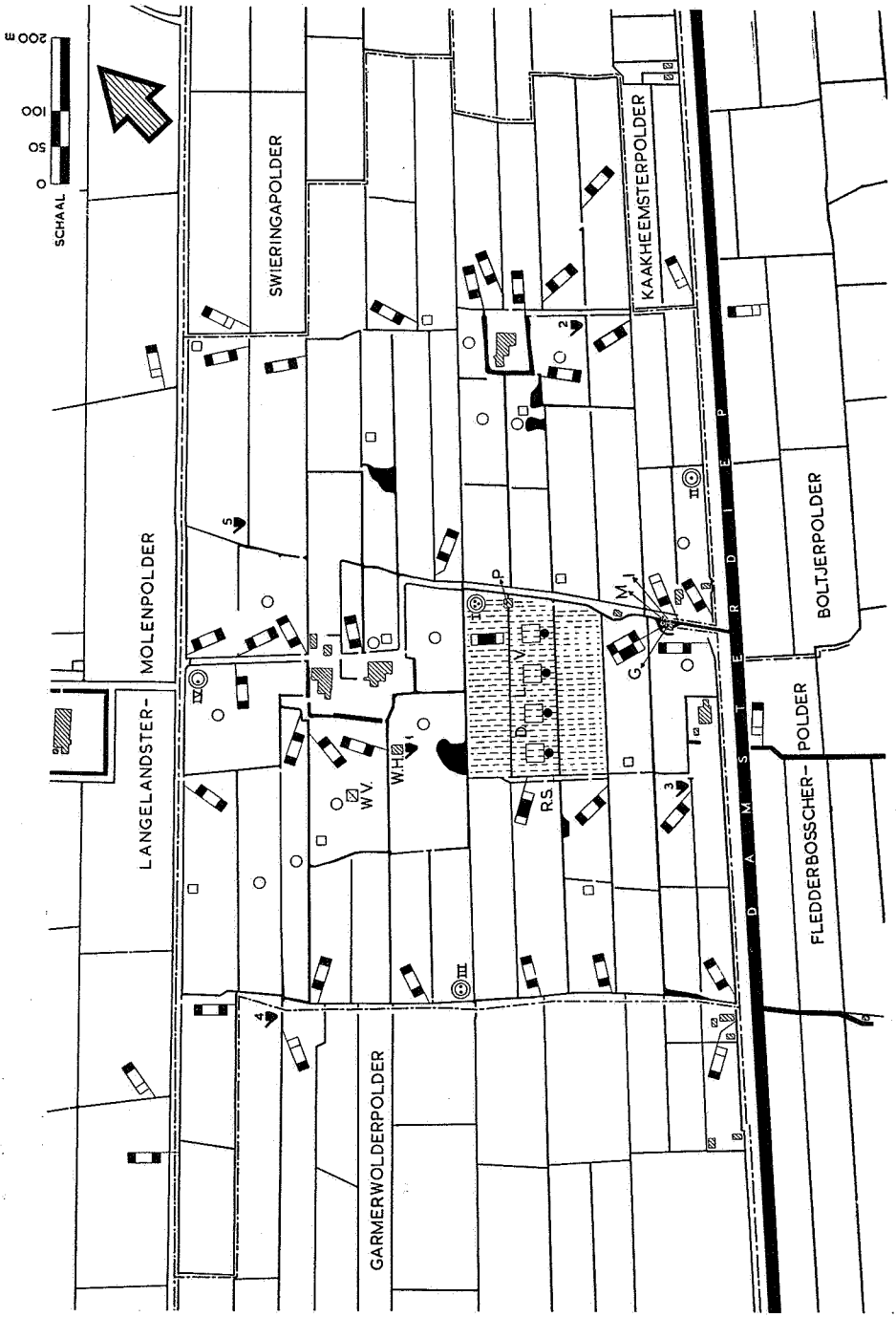

SCHAAL
0
50
100
200 m
SWIERINGAPOLDER
KAAKHEEMSTERPOLDER
LANGELANDSTER-
MOLENPOLDER
BOLTJERPOLDER
FLEDDERBOSSCHER-
POLDER
GARMERWOLDERPOLDER
DAMSTERDIEP
W.H.
W.V.
R.S.
D.
L.
V.
P
M
G
I
II
III
IV
1
2
3
4
5

FIG. 1b. Overzichtstekening Rottegatspolder. (Technische voorzieningen ten behoeve van het onderzoek).

W.V. = K.N.M.I. waarnemingsveld
= *K.N.M.I. field of observation*
= *K.N.M.I. champ d'observation*

W.H. = waarnemershuisje
= *observers hut*
= *abri de l'observateur*

D.L.V. = drainage-lysimeterveld met 4 proefvakken (zie figuren 8 en 9)
= *drainage-lysimeterfield with 4 trial-sections (see figs. 8 and 9)*
= *champ de drainage-lysimètre avec 4 sections d'épreuve (voir les figures 8 et 9)*

R.S. = ringsloot
= *encircling ditch*
= *fossé de ceinture*

G = gemaal
= *pumping engine*
= *station d'épuisement*

I = inlaatduiker
= *irrigation culvert*
= *aqueduc d'irrigation*

M = meetschot
= *measuring board*
= *planche de mesure*

= polderpeilschaal (32 stuks)
= *poldergauge (32)*
= *échelle du polder (32)*

= registrerende polderpeilschaal
= *recording poldergauge*
= *échelle du polder enregistrante*

= peilschaal in ringsloot (2 stuks)
= *gauge in encircling ditch (2)*
= *échelle dans le fossé de ceinture (2)*

= boezempeilschaal
= *„boezem" gauge*
= *échelle de „boezem"*

= peilschaal in omliggende polder (8 stuks)
= *gauge in adjacent polders (8)*
= *échelle dans les polders circonvoisins (8)*

= peilbuis
= *gauge tube*
= *tuyau d'échelle*

III = diepboring nr III met 2 waarnemingsfilters
= *depth boring nr III with 2 observation filters*
= *forage de profondeur no III avec 2 filtres d'observation*

= bemonsteringsveld (zie ook figuur 10)
= *sampling plot (see also fig. 10)*
= *champ d'échantillonnage (voir aussi fig. 10)*

P = bemalings- en inlaatinstallatie voor ringsloot
= *drainage- and inlet installation of encircling ditch*
= *installation d'épuisement et d'irrigation pour le fossé de ceinture*

= regenmeter (nrs 1, 2, 3, 4 en 5)
= *pluviometer (nrs 1, 2, 3, 4 and 5)*
= *pluviomètre (nos 1, 2, 3 4 et 5)*

= drainage

= boerderij, e.d.
= *farmhouse, etc.*
= *ferme, etc.*

= poldergrens
= *polder boundary*
= *limite de polder*

FIG. 1b. *Survey drawing Rottegatspolder. (Technical provisions for the investigation).*
FIG. 1b. *Dessein général Rottegatspolder. (Provisions techniques pour l'investigation).*

II. DE METHODE VAN HET VERTICALE WATERDAMPTRANSPORT

1. Inleiding

De door toepassing van deze methode verkregen resultaten tot October 1951 zijn in tabel 1 vermeld.

Tabel 1. Maandsommen (in mm) van de verdamping uit grasland berekend volgens de methode van het verticale waterdamptransport

Jaar *Year Année*	Jan.	Febr.	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1947	–	–	–	–	–	62	67	54	17	10	2	0
1948	0	6	10	28	70	174	112	43	45	9	1	4
1949	– 3	– 2	19	32	78	40	33	40	28	10	– 6	– 1
1950	8	21	18	74	127	108	108	60	55	38	6	– 2
1951	8	15	30	78	39	47	49	64	29	–	–	–

Table 1. *Monthly totals (in mm) of evaporation from grassland, calculated according to the method of the vertical vapour transport*

Tableau 1. *Totaux mensuels (en mm) de l'évaporation de prés, calculés d'après la méthode de transport vertical de vapeur*

Gebrek aan ervaring met deze methode, welke hier te lande nog nimmer was toegepast en elders niet in die mate, dat het verantwoord zou zijn geweest, de daar gevolgde werkwijze zonder meer over te nemen, was oorzaak, dat meermalen veranderingen in het instrumentarium en de berekeningswijze werden aangebracht. Een onderlinge vergelijking der in tabel 1 gegeven verdampingsgetallen, zonder daarbij de achtergrond van hun ontstaan in het oog te houden, kan dan ook niet tot een juiste waardering leiden. Ter kenschetsing van die achtergrond dienen de volgende gegevens.

2. Voorlopige metingen

Tot Mei 1948 zijn de vermelde maandsommen gebaseerd op resultaten van dagelijkse waarnemingen met de Assmann-psychrometer om 8, 14 en 19 uur middelbare plaatselijke tijd, welke tijden overeenstemmen met de waarnemingstijden op de overige klimatologische stations van het K.N.M.I.

Er werden achtereenvolgens op de meethoogten 25, 50, 100, 200, 100, 50 en 25 cm met tijdsverschillen van 4 minuten gedurende 2 minuten, 5 aflezingen verricht van de geventileerde droge- en nattebolthermometer. Het symmetrische schema werd zo afgewerkt, dat de middelste waarneming op 200 cm hoogte juist op 8, 14 of 19 uur viel. Met behulp van een Assmann-psychrometertabel kon bij iedere combinatie van de natte- en drogeboltemperatuur de dampspanning worden bepaald. De uitkomsten voor een zelfde hoogte in een meetserie werden tot een gemiddelde waarde samen-

gevoegd. Op deze wijze werd voor iedere dag de gemiddelde dampspanning en de gemiddelde temperatuur op de vier meethoogten te 8, 14 en 19 uur bepaald.

Daar de anemometers nog niet beschikbaar waren, konden nog geen metingen van de windsnelheid worden verricht. Om nu toch tot een schatting van de verdamping te kunnen geraken werd aangenomen, dat de door het meteorologische waarnemingsstation bij het Physisch Laboratorium te Groningen op torenhoogte gemeten windsnelheid overeenstemt met die, welke op 11 m hoogte boven vlak terrein zou worden gemeten en dat deze windsnelheid ook voor de Rottegatspolder zou gelden. Hoewel een grove benadering van de werkelijkheid, is deze veronderstelling, gelet op de geografische ligging van de stad Groningen en het waarnemingsstation in de Rottegatspolder, niet al te gewaagd, te minder aangezien geen momentane waarden van de windsnelheid gebruikt werden, doch gemiddelden over 2 uren, zoals die aan de uurtabellen konden worden ontleend. Voorts werd voor de ruwheidsparameter van de bodem de waarde van 3 cm aangenomen, een waarde die in de literatuur voor open grasland wordt opgegeven.

Met deze aanname en de voor de vier hoogten gevonden gemiddelde dampspanningen en gemiddelde temperaturen werd op 8, 14 en 19 uur dagelijks de verdamping per uur berekend, met behulp van de formules betreffende het verband tussen windsnelheid resp. dampspanning en de waarnemingshoogte (Lit. 2). De verkregen uitkomsten werden over de maand gesommeerd en de drie aldus verkregen sommen in een grafiek gebracht, waarvan op de horizontale as de uren van de dag waren uitgezet. Door de drie verkregen punten werd met de vrije hand een gemiddelde dagelijkse gang geconstrueerd, met een maximum overdag en een vlak minimum des nachts, hetgeen op ongedwongen wijze mogelijk bleek zonder daarbij belangrijke fouten te maken. Uit de grafiek kon dan over ieder uur de verdamping of de condensatie (negatieve verdamping) worden afgelezen en na optelling over de 24 uren van het etmaal werd de totale netto-verdamping over de maand gevonden. Het behoeft geen betoog, dat de op de geschetste wijze verkregen resultaten niet meer dan een globaal karakter dragen.

3. Theoretische basis

Nadat in April 1948 de registrerende psychrometer-installatie en de Robinson-anemometers waren geplaatst, kon de electrische registratie van de natte- en drogeboltemperaturen en van de windsnelheden een aanvang nemen. Aan de methoden van bewerking van de resultaten der waarnemingen liggen de in het volgende overzicht gegeven theoretische betrekkingen ten grondslag.

Volgens de theorie van de turbulente uitwisseling, zoals die door Prandtl, Sverdrup, Rossby en Montgomery vóór 1940 was ontwikkeld, kan de verticale transportstroomdichtheid van waterdamp (σ_z) in een horizontale, parallelle windstroming boven een uniform, oneindig uitgebreid oppervlak van een bepaald hydrodynamische ruwheid onder stationnaire omstandigheden worden uitgedrukt door de vergelijking:

$$\sigma_z = -\bar{\varrho}\, \varkappa^2 (z+z_0)^2 \frac{d\bar{u}}{dz} \frac{d\bar{q}}{dz} \qquad (1)$$

waarin: $\bar{\varrho}$ = de dichtheid van de lucht,
$\varkappa$ = 0,40 (de constante van VON KÁRMÁN),
z = de hoogte boven het aardoppervlak,
z_0 = de ruwheidsparameter,
$\bar{u}$ = de gemiddelde horizontale windsnelheid
$\bar{q}$ = de gemiddelde specifieke vochtigheid van de lucht, d.i. de massa van de waterdamp per massa-eenheid vochtige lucht.

Daar het verticale transport door iedere horizontale eenheidsdoorsnede gelijk is, stelt σ_z tevens de verdampingssnelheid (F) voor, d.w.z. de watermassa, welke per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid verdampt. De vergelijking geldt strikt genomen alleen voor een atmosfeer waarin thermisch indifferent evenwicht heerst, d.w.z. voor een atmosfeer waarin de potentiële temperatuur niet met de hoogte verandert. Waarschijnlijk zijn de afwijkingen in een onstabiel gelaagde atmosfeer gering. Grotere afwijkingen mag men in een stabiel gelaagde atmosfeer verwachten. Onder dergelijke omstandigheden, welke vaak des nachts optreden, wordt de turbulente uitwisseling sterk onderdrukt; de verdamping is dan ook gering en daarom is deze toestand waarschijnlijk niet van overwegende betekenis.

De theorie leert verder, dat de beide factoren uit (1) te weten:

$$\left.\begin{aligned} (z+z_0)\frac{d\bar{u}}{dz} &= \frac{d\bar{u}}{d\ \ln\ (z+z_0)} = \frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle\ \ln\ (z+z_0)} \\ &\text{en} \\ (z+z_0)\frac{d\bar{q}}{dz} &= \frac{d\bar{q}}{d\ \ln\ (z+z_0)} = \frac{\triangle\ \bar{q}}{\triangle\ \ln\ (z+z_0)} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

welke resp. het windsnelheids- en het vochtigheidsprofiel bepalen, constant zijn naar de hoogte. Deze grootheden kunnen derhalve door differentiequotiënten vervangen worden.

Om redenen van practische aard wordt in plaats van de specifieke vochtigheid $\bar{q}$ de dampspanning $\bar{e}$ gebruikt. Bij goede benadering geldt:

$$\bar{q} = 0{,}623\ \frac{\bar{e}}{p} \quad (3)$$

waarin p de luchtdruk voorstelt.

Tussen de luchtdruk p, de luchtdichtheid $\bar{\varrho}$ en de virtuele absolute temperatuur van de lucht T_v bestaat de betrekking:

$$p = \bar{\varrho}\ R_L\ T_v \quad (4)$$

waarbij R_L de gasconstante van droge lucht voorstelt.

Met gebruikmaking van (1), (2), (3) en (4) kan de verdampingssnelheid F in de volgende vorm worden gebracht:

$$F = -\ \frac{0{,}623\ \varkappa^2}{R_L\ T_v} \cdot \frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle\ \ln\ (z+z_0)} \cdot \frac{\triangle\ \bar{e}}{\triangle\ \ln\ (z+z_0)} \quad (5)$$

Drukt men alle grootheden in c.g.s.-eenheden uit, dus z en z_0 in cm, $\bar{u}$ in cm.sec^{-1}, e in dn.cm^{-2}, T_v in °K, dan is $R_L = 2{,}8703 \times 10^6$ en men vindt F in g.cm^{-2}.sec^{-1}.

Het is gebruikelijk $\bar{u}$ in m.sec^{-1} te meten, $\bar{e}$ in mm kwikdruk, de temperatuur t in °C en F in mm waterhoogte per uur. Drukt men z en z_0 in cm uit, dan geldt voor dit geval:

$$F = -\frac{0{,}623\ \varkappa^2}{2{,}87\ .\ 10^6} \cdot \frac{1}{t+273} \cdot \frac{10^2\ \triangle\ \bar{u}}{\triangle \ln(z+z_0)} \cdot \frac{981{,}3\ .\ 1{,}358\ .\ \triangle\ \bar{e}\ .\ 3600.\ 10}{\triangle \ln(z+z_0)}$$

of:

$$F = -\frac{167}{t+273} \cdot \frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle \ln(z+z_0)} \cdot \frac{\triangle\ \bar{e}}{\triangle \ln(z+z_0)}\ (\text{mm h}^{-1}) \qquad (6)$$

4. Practische uitvoering van de berekening

Reeds werd opgemerkt, dat $\bar{u}$ een lineaire functie is van $\ln(z+z_0)$. Indien men dus de op de meethoogten z_i ($i = 1, \ldots 4$) verkregen windsnelheden $\bar{u}_i$ (gemiddelden over 1 uur) in een grafiek uitzet tegen $\ln(z_i+z_0)$, dan zullen de punten op een rechte liggen, waarvan de helling direct de gezochte waarde $\frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle \ln(z+z_0)}$ heeft. Echter is z_0 een onbekende. Zet men de waarden $\bar{u}_i$ uit tegen $\ln z_i$, dan liggen de punten niet op een rechte, doch op een kromme, welke echter des te minder van een rechte afwijkt naarmate z meer van z_0 verschilt.

Men kan nu de windkromme tussen het hoogste en het laagste meetpunt vervangen door een waarschijnlijkste rechte volgens de methode van de kleinste kwadraten en het verband bepalen tussen de parameters van deze rechte en de parameters

$$A = \frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle \ln(z+z_0)} \text{ en } z_0.$$

De waarschijnlijkste rechte kan worden voorgesteld door:

$$\bar{u}' = P \ln z + Q \qquad (7)$$

Substitutie van de waarden z_i in deze vergelijking levert waarden $\bar{u}_i'$, welke volgens de windwet gelden:

$$\bar{u}_i' = \frac{1}{\varkappa} \sqrt{\frac{\tau_0}{\bar{\varrho}}} \ln \frac{z+z_0}{z_0} = A \ln \frac{z_i+z_0}{z_0} \qquad (8)$$

Nu moet getracht worden P en Q zodanig te bepalen, dat de som van de kwadraten der verschillen ($n = 4$):

$$\Omega\ (P.Q) = \sum_1^n i\ (\bar{u}_i - \bar{u}_i')^2 = \sum_1^n i \left\{ A \ln \frac{z_i + z_0}{z_0} - (P \ln z_i + Q) \right\}^2 \qquad (9)$$

een minimum wordt. Daartoe moet $\frac{\delta\ \Omega}{\delta\ P} = \frac{\delta\ \Omega}{\delta\ Q} = 0$ zijn, hetgeen twee lineaire

vergelijkingen in P en Q geeft, waaruit deze grootheden gemakkelijk kunnen worden opgelost. Het eindresultaat blijkt in de volgende vorm geschreven te kunnen worden:

$$P = A.\ \alpha(z_0) \text{ en } Q = A.\ \beta(z_0) \tag{10}$$

waarin α (z_0) en β (z_0) bekende functies zijn van z_0, omdat de overige grootheden, welke er in voorkomen (z_i en n = aantal meethoogten), alle bekend zijn.

De bepaling van de grootheden z_0 en A uit simultane windwaarnemingen op verschillende vaste hoogten z_i kan nu op de volgende wijze grafisch worden uitgevoerd.

In een ($\bar{u}$, ln z)-diagram worden de gemeten windsnelheden $\bar{u}_i$ tegen ln z_i uitgezet en door de punten ($\bar{u}_i$, ln z_i) op het oog de „beste" rechte getrokken. Deze rechte wordt nu beschouwd identiek te zijn met de rechte, die door (7) wordt voorgesteld. Zij snijdt de $\bar{u}$-as in het punt ($\bar{u}$, ln z) = (Q, O) en de ln z-as in het punt

$$(\bar{u}, \ln z) = (O, -\frac{Q}{P}).$$

Nu is volgens (10):

$$-\frac{Q}{P} = \frac{\beta(z_0)}{\alpha(z_0)} = \psi(z_0) \tag{11}$$

waarin ψ (z_0) eveneens een bekende functie van z_0 is. Voegt men nu aan de waarden ln z $= -\frac{Q}{P}$ de waarden z_0 toe volgens (11) langs de ln z-as, dan leest men hierop onmiddellijk de gezochte waarde z_0 af.

Voorts leidt men gemakkelijk uit (7) en (10) de volgende waarde van A af:

$$A = \frac{\bar{u}'_i}{\alpha(z_0) \ln z_i + \beta(z_0)} \tag{12}$$

De waarde $\bar{u}'_i$ is bepaald door de getrokken „beste" rechte. Trekt men vervolgens door een der punten ($\bar{u}'_i$, ln z_i) een nieuwe rechte, welke de ln z-as snijdt bij een waarde

$$\gamma(z_0) = \ln z_i - \left\{\alpha(z_0) \ln z_i + \beta(z_0)\right\} \tag{13}$$

dan heeft deze rechte de juiste helling A.

Voegt men wederom aan de waarden ln z $= \gamma$ (z_0) de bijbehorende waarden z_0 op de ln z-as toe, dan kan men deze nieuwe rechte ook direct trekken als z_0 via (11) bekend is. De gezochte waarde A is af te lezen als tangens van de hoek tussen de normaal op de rechte en de $\bar{u}$-as langs een cirkelboog, die het punt ($\bar{u}'_i$, ln z_i) tot middelpunt heeft.

Door P. J. Rijkoort, wetenschappelijk assistent bij het K.N.M.I., werd een eenvoudig hulpinstrument geconstrueerd, waarmede op snelle wijze volgens de hier geschetste methode de waarden van z_0 en

$$A = \frac{\triangle\ \bar{u}}{\triangle \ln (z+z_0)} \text{ zijn te bepalen.}$$

Wat de dampspanningsgradiënt betreft kan men op analoge wijze te werk gaan. Onder stationnaire omstandigheden geldt:

$$\bar{e}(z) = \bar{e}(O) - B \ln \frac{z+z_0}{z_0} \tag{14}$$

resp.:

$$\frac{\triangle e}{\triangle \ln(z+z_0)} = - B \tag{15}$$

Wordt $\bar{e}$ (z) in een grafiek uitgezet tegen ln (z) dan wordt een kromme gevonden, die evenals bij de wind des te minder van een rechte afwijkt, naarmate z meer van z_0 verschilt. Wordt de kromme in het hoogte-interval vervangen door de „beste" rechte

$$\bar{e}'(z) = P' \ln z + Q' \tag{16}$$

dan kunnen volgens de methode van de kleinste kwadraten wederom P′ en Q′ bepaald worden:

$$P' = - B\, \alpha(z_0) \text{ en } Q' = \bar{e}(O) - B\, \beta(z_0) \tag{17}$$

waaruit:

$$- B = \frac{\triangle \bar{e}}{\triangle \ln (z+z_0)} = \frac{P'}{\alpha (z_0)} \tag{18}$$

volgt.

De bewerking van de anemometerregistraties is het eenvoudigst uit te voeren. Uittelling van het aantal geregistreerde contactafstanden levert met behulp van de ijking onmiddellijk de gemiddelde windsnelheid over het uur. De bewerking van de registraties der droge- en natteboltherm ometers levert meer moeite op. Hoewel men strikt genomen de gemiddelde dampspanning over een uur zou dienen af te leiden uit een zo groot mogelijk aantal dampspanningswaarden, afzonderlijk afgeleid uit droge- en natteboltemperaturen, bleek in de practijk, dat kon worden volstaan met de waarde van de dampspanning afgeleid uit het gemiddelde van 3 waarnemingen van de drogeboltemperatuur (aan het begin, het midden en het eind van het betrokken uur) gecombineerd met het gemiddelde van 3 waarnemingen van de natteboltemperatuur.

De verdamping over het uur werd berekend met (6) voor elk uur van de dag en gesommeerd over het etmaal.

5. Moeilijkheden met de psychrometers

Tijdens vorstperioden konden de registrerende psychrometers — wegens gemakkelijke bevriezing van de waterhouders voor de vochtvoorziening van de natte thermometers — niet worden gebruikt. Dan werden, om toch een zo goed mogelijke aaneensluitende reeks van uitkomsten te krijgen, driemaal daagse waarnemingen met de Assmann-psychrometer verricht.

In de loop van 1949 rees twijfel ten aanzien van de juiste aanwijzing van het registreerinstrument der psychrometers. Het instrument werd daarom in October 1949 geijkt en er werden voor de registratiestroken van de natte- en drogeboltemperaturen nieuwe afleesschaaltjes geconstrueerd, hetgeen bij de bewerking der waarnemingen na October 1949 een belangrijke verbetering bleek te zijn.

In het waarnemingsjaar October 1950 tot October 1951 deden zich opnieuw onregelmatigheden in de registratie voor en moest het instrument gedurende betrekkelijk lange perioden voor herstel buiten werking worden gesteld.

6. Moeilijkheden met de anemometers

Ook het gedrag van de anemometers diende voortdurend kritisch in het oog te worden gehouden.

Bij de bewerking van het waarnemingsmateriaal over het tijdvak Mei/October 1948 was gebleken, dat de ruwheidsparameter niet als een constante kan worden beschouwd met een waarde van ongeveer 3 cm, zoals daarvoor werd aangenomen. Meermalen werden veel grotere waarden gevonden. Zoekende naar een verklaring voor deze afwijkingen werd het niet onmogelijk geacht, dat de anemometers als gevolg van het feit, dat zij slechts voor hun gebruik „ingedraaid" waren, tijdens de metingen gemakkelijker zouden zijn gaan lopen, zodat de windsnelheden en dus ook hun verschillen volgens de indertijd vervaardigde ijktabellen te hoog zouden zijn. De ruwheidsparameter wordt dan ook te hoog gevonden en de verdamping eveneens.

Er was dus alle aanleiding om tot een nieuwe ijking van de anemometers over te gaan.

Teneinde de waarnemingen in de Rottegatspolder niet te onderbreken werden, omdat beschikt kon worden over een tweetal reserve-anemometers, de anemometers in de polder met twee tegelijk geijkt. Zulks geschiedde, zoals tot dusverre steeds gebruikelijk was geweest, door vergelijking met de aanwijzingen van de Dines-anemograaf op de toren van het K.N.M.I. te De Bilt, gedurende de periode van Juli 1949 tot Februari 1950.

Bij de berekening van de verdamping in de maanden van het waarnemingsjaar October 1948 tot October 1949 kon nog niet over een volledige bewerking van het vergelijkingsmateriaal (ca 4000 uurgemiddelden van de windsnelheden volgens Dines-Robinson-anemometers) worden beschikt. Wel werden met behulp van het onvolledig bewerkte materiaal voorlopig nieuwe ijkkrommen afgeleid, waarvan over de periode October 1948 tot October 1950 werd gebruik gemaakt. Overeenkomstig de verwachting omtrent het „inlopen" bleek, dat het aantal omwentelingen per uur van de Robinson-anemometers bij een zelfde gemiddelde windsnelheid belangrijk was toegenomen vergeleken bij toepassing van de oude ijking.

Later heeft de volledige bewerking van het vergelijkingsmateriaal aangetoond, dat de gevolgde methode om de Robinson-anemometers te ijken met behulp van de Dines-anemograaf toch niet in alle opzichten de juiste is. Het vermoeden was gerezen, dat het fluctuerende karakter van de natuurlijke wind, zoals dit direct blijkt uit de

registratie van de Dines-anemograaf, niet zonder invloed is op de aanwijzingen zowel van dit instrument, als op die van de Robinson-anemometers. Een nauwkeurige analyse van de windbuiigheid leerde, dat deze de aanwijzingen van de Dines-anemograaf merkbaar beïnvloedde, doch die van de Robinson-anemometers slechts weinig.

In aansluiting op dit onderzoek werd een drietal Robinson-anemometers geijkt in de windtunnel van het Nationaal Luchtvaart Laboratorium te Amsterdam. De verkregen uitkomsten stemden echter niet overeen met die, welke met de Dines-anemograaf waren verkregen na extrapolatie op een windbuiigheid nul. Een afzonderlijk onderzoek van het gedrag van de Dines-anemograaf in de windtunnel bracht evenwel aan het licht, dat de door de fabriek opgegeven ijkgetallen voor windsnelheden beneden 15 m/sec tot te lage aanwijzingen leidden en derhalve met ongeveer 10% dienen te worden verhoogd. Na het aanbrengen van deze correctie stemden de uitkomsten van Dines-anemograaf en Robinson-anemometers met elkaar overeen.

Voor het waarnemingstijdvak van October 1950 tot October 1951 is voorlopig als ijklijn gebruikt het gemiddelde van de windtunnel-ijkingen van de bedoelde drie anemometers.

De bovengenoemde correctie betekent, dat de verdampingsbedragen in vorige perioden gevonden verhoogd zouden moeten worden. Het is niet zonder meer aan te geven met welk bedrag zulks zou moeten geschieden. Dit hangt af van de windsnelheid en de verticale gradiënt van de windsnelheid. De orde van grootte kan op 10% gesteld worden.

7. Nabeschouwing

Uit het vorenstaande blijkt, dat de tot nu toe verkregen resultaten van het onderzoek nog geenszins zo bevredigend zijn, dat men overal waar daaraan behoefte bestaat de verdamping kan gaan meten volgens de methode van het verticale waterdamptransport met kans op nauwkeurige resultaten.

Toch wordt gemeend, dat de orde van grootte der voor vele maanden gevonden verdampingsbedragen zodanig in overeenstemming is met de orde van grootte der werkelijke verdamping in die maanden, dat van een voortzetting van het onderzoek de mogelijkheid der verwezenlijking van dit denkbeeld verwacht mag worden.

III. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR DE GEHELE POLDER

1. Inleiding

Onder de waterbalans van een polder voor een bepaalde periode wordt verstaan de gelijkstelling van de som der hoeveelheden water, welke door regen, inlating of kwel gedurende die periode op de polder zijn gebracht aan de som der hoeveelheden water, welke in dezelfde periode door lozing, uitzijging (= negatieve kwel) en verdamping aan de polder zijn onttrokken, vermeerderd met de toeneming van de in de grond en in de sloten geborgen hoeveelheden water.

De waterbalans kan daarom voorgesteld worden door de formule:

$$R + I + K = L + V + G + S$$

waarin R = regen (sneeuw, dauw), I = ingelaten water,
K = kwel (inclusief uitzijging of negatieve kwel),
L = geloosd water, V = verdamping,
G = toeneming van het in de grond geborgen water en
S = toeneming van het in de sloten en plassen geborgen water.

2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans

Voor het berekenen van de hoeveelheid over een bepaalde periode verdampt water volgens de uit de waterbalans afgeleide formule voor de verdamping

$$V = R + I + K - L - G - S$$

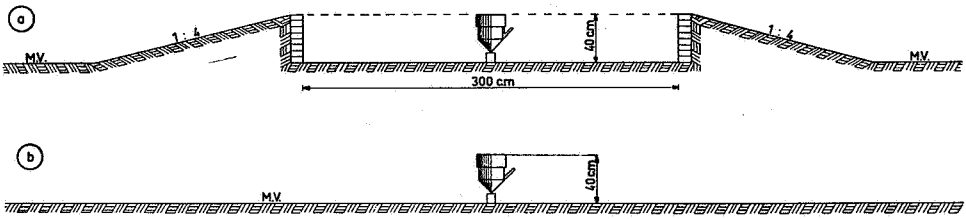
moet dus de grootte der in deze formule voorkomende termen R, enz. worden bepaald. Voor balansperioden van ongeveer één maand leverde dit — met uitzondering van G — geen bijzondere moeilijkheden op.

De bepaling van de aan de verschillende termen van de waterbalans toe te kennen waarden geschiedde als volgt:

R. Voor R werd beschikt over de waarnemingen van een 5-tal verspreid over de polder opgestelde regenmeters (K.N.M.I.-model), genummerd 1 t/m 5 (zie fig. 1b). Regenmeter nr 1 is opgesteld volgens de „Engelse opstelling", de overige meters volgens de normale bij het K.N.M.I. gebruikelijke methode, zoals in fig. 2 is aangegeven.

Uit de in Augustus 1947 aangevangen reeks waarnemingen bleek, dat over het algemeen met de regenmeter nr 1 grotere hoeveelheden neerslag werden gemeten, dan met de overige 4 regenmeters en dat de met de regenmeter nr 2 gemeten hoeveelheden neerslag onder invloed van de plaatselijke situatie (nabijgelegen boerderij, bomen enz.) min of meer betekenend bij de met de meters nrs 3, 4 en 5 waargenomen hoeveelheden achterbleven. Op 1 November 1949 werd regenmeter nr 2 verplaatst, tengevolge waarvan een belangrijke verandering ten goede kon worden geconstateerd. In de loop van het voorjaar van 1952 werd de opstelling der regenmeters andermaal

FIG. 2. Opstelling regenmeters



a = Engelse opstelling
= *English mounting*
= *montage à l'anglaise*

b = normale opstelling
= *normal mounting*
= *montage normal*

M.V. = maaiveld
= *surface level*
= *niveau du sol*

FIG. 2. *Mounting of pluviometers*
FIG. 2. *Montage des pluviomètres*

in discussie gebracht, hetgeen leidde tot het verplaatsen der regenmeters nrs 2 en 3 en het aanbrengen van enige wijziging in de opstelling der regenmeters nrs 4 en 5.

Voor perioden van een jaar vóór en na de verplaatsing van de regenmeter nr 2 op 1 November 1949 en van de regenmeters nrs 2 t/m 5 op 24—26 April 1953 geeft tabel 2 de percentages van de met de 4 normaal opgestelde regenmeters gemeten neerslaghoeveelheden ten opzichte van de met de meter nr 1 (Engelse opstelling) opgevangen hoeveelheden. De genoemde verschillen en de wijzigingen ten goede daarin tengevolge van de ingevoerde veranderingen in de opstelling der regenmeters komen in deze tabel duidelijk tot uitdrukking.

FIG. 3. Invloed van de verplaatsing der regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 op de verhoudingen (in procenten ten opzichte van regenmeter nr 1) der gemeten hoeveelheden (zie ook tabel 2)

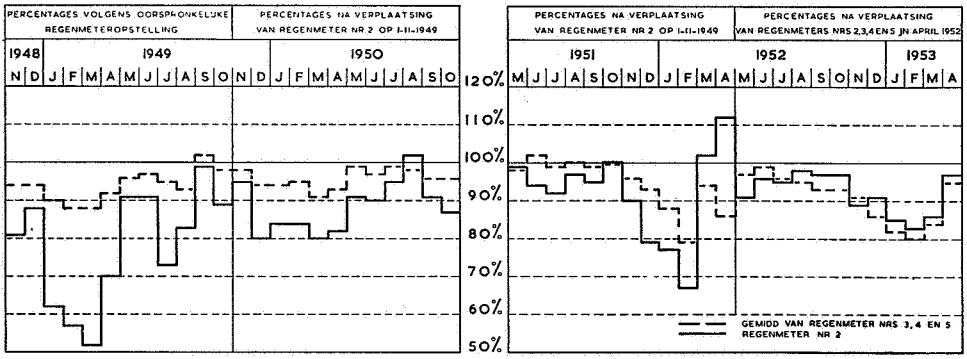


FIG. 3. *Influence of shifting of pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 on the proportions (in percentages with regard to pluviometer nr 1) of the quantities measured (see also table 2)*

FIG. 3. *Influence du déplacement des pluviomètres no 2, 3, 4 et 5 sur les proportions (en pourcents en égard du pluviomètre no 1) des quantités mesurées (voir aussi tableau no 2)*

TABEL 2. (zie ook fig. 3).

Neerslag gemeten met de regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 (zie fig. 1b en 2b) in procenten van de neerslag gemeten met regenmeter nr 1 (zie fig. 1b en 2a).

a. gedurende de perioden Nov. 1948/Oct. 1949 en Nov. 1949/Oct. 1950

Tijdvak *Period Période*	Regenmeter nr *Pluviometer nr Pluviomètre no* 2	3	4	5	Opmerkingen *Remarks Remarques*
November 1948	81	93	91	99	Het percentage voor regenmeter nr 2 is aanzienlijk geringer dan de percentages voor de regenmeters nrs 3, 4 en 5. *The percentage for pluviometer nr 2 is considerably lower than the percentages for the pluviometers nrs 3, 4 and 5. Le pourcentage pour le pluviomètre no 2 est considérablement plus petit que les pourcentages pour les pluviomètres nos 3, 4 et 5.*
December 1948	88	94	93	96	
Januari 1949	62	89	90	90	
Februari 1949	57	83	89	92	
Maart 1949	52	80	88	95	
April 1949	70	89	92	95	
Mei 1949	91	91	98	100	
Juni 1949	91	97	93	100	
Juli 1949	73	95	97	92	
Augustus 1949	83	95	92	93	
September 1949	99	98	102	105	
October 1949	89	99	95	99	
Nov. 1948/Oct. 1949	78	92	93	96	
		94			
November 1949	95	98	99	98	Op 1 November 1949 werd regenmeter nr 2 verplaatst. De percentages voor de regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 lopen onderling aanzienlijk minder sterk uiteen dan voordien het geval was. *On November 1st, 1949, pluviometer nr 2 was shifted. The percentages for the pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 mutually differ considerably less strongly than before. Le 1 novembre 1949 le pluviomètre no 2 fut déplacé. Les pourcentages pour les pluviomètres nos 2, 3, 4 et 5 diffèrent entre eux considérablement moins qu'auparavant.*
December 1949	80	91	93	98	
Januari 1950	84	95	92	95	
Februari 1950	84	97	93	96	
Maart 1950	80	88	90	95	
April 1950	82	90	91	98	
Mei 1950	91	89	102	106	
Juni 1950	90	95	95	99	
Juli 1950	95	99	97	100	
Augustus 1950	102	104	90	99	
September 1950	91	93	94	100	
October 1950	87	93	90	106	
Nov. 1949/Oct. 1950	89	95	94	99	
		96			

TABLE 2. *(see also fig. 3).*

Precipitation measured with the pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 (see fig. 1b and 2b) in percentages of the precipitation measured with pluviometer nr 1 (see fig. 1b and 2a).

a. During the periods Nov. 1948/Oct. 1949 and Nov. 1949/Oct. 1950

TABLEAU 2. *(voir aussi figure 3).*

Précipitation mesurée avec les pluviomètres nos 2, 3, 4 et 5 (voir figures 1b et 2b) en pourcents de la précipitation mesurée avec la pluviomètre no 1 (voir figures 1b et 2a).

a. Pendant les périodes novembre 1948/octobre 1949 et novembre 1949/octobre 1950

b. Gedurende de perioden Mei 1951/April 1952 en Mei 1952/April 1953

Tijdvak *Period* *Période*	Regenmeter nr *Pluviometer nr* *Pluviomètre no*				Opmerkingen *Remarks* *Remarques*
	2	3	4	5	
Mei 1951	99	94	99	100	De nevenstaande cijferreeks geeft een zelfde beeld als ook voor de periode Nov. 1949/Oct. 1950 werd gevonden (zie 2de deel van tabel 2a). Na de verplaatsing van regenmeter nr 2 op 1 Nov. 1949 blijft het percentage voor deze regenmeter over het algemeen iets kleiner dan de percentages voor de overige regenmeters. * Neerslag d.d. 23-4-1952: nrs 1 10,7 mm; 2 20,2 mm; 3 3,8 mm; 4 9,9 mm; en 5 11,1 mm. *The adjacent series of figures gives the same picture as was found for the period Nov. 1949/Oct. 1950 (see second part of table 2a). After the shifting of pluviometer nr 2 on November 1st, 1949 the percentage for this pluviometer generally remains a little lower than the percentages for the other pluviometers.* ** Precipitation d.d. 23.4.1952:* *nrs 1 10.7 mm; 2 20.2 mm; 3 3.8 mm; 4 9.9 mm; and 5 11.1 mm.* *La série de chiffres à gauche donne le même image que pour la période nov. 1949/oct. 1950 (voir la 2me partie du tableau 2a). Après le déplacement du pluviomètre no 2 au 1 nov. 1949 le pourcentage pour ce pluviomètre-ci reste généralement un peu moins que les pourcentages pour les autres pluviomètres.* ** Précipitation du 23.4.1952:* *nos 1 10,7 mm; 2 20,2 mm; 3 3,8 mm; 4 9,9 mm et 5 11,1 mm.*
Juni 1951	94	100	103	102	
Juli 1951	92	100	101	95	
Augustus 1951	97	106	97	93	
September 1951	95	99	100	99	
October 1951	100	97	99	103	
November 1951	90	97	93	98	
December 1951	79	95	88	97	
Januari 1952	77	87	84	92	
Februari 1952	67	86	71	81	
Maart 1952	102	95	92	96	
April 1952 *	112	65	92	101	
Mei 1951/April 1952	90	94	93	97	
		95			
Mei 1952	91	96	100	95	In April 1952 werden de regenmeters nrs 2 en 3 verplaatst en werd in de opstelling van de regenmeters nrs 4 en 5 enige wijziging gebracht. Tengevolge van deze maatregelen komen de percentages voor de 4 regenmeters onderling vrijwel met elkaar overeen. *In April 1952 the pluviometers nrs 2 and 3 were shifted and a small change was effected in the place of the pluviometers nrs 4 and 5. Owing to these measures the percentages of the 4 pluviometers fairly well agree.* *En avril 1952 les pluviomètres nos 2 et 3 furent déplacés et la situation des pluviomètres 4 et 5 fut légèrement changée. Par suite de ces mesures les pourcentages pour les 4 pluviomètres sont à peu près conformes.*
Juni 1952	96	99	100	99	
Juli 1952	95	95	98	95	
Augustus 1952	98	95	95	95	
September 1952	97	91	91	97	
October 1952	97	95	91	94	
November 1952	89	91	90	92	
December 1952	91	85	85	88	
Januari 1953	85	81	81	86	
Februari 1953	83	82	79	80	
Maart 1953	86	81	83	89	
April 1953	97	96	94	95	
Mei 1952/April 1953	93	92	92	93	
		92			

b. During the periods May 1951/April 1952 and May 1952/April 1953

b. Pendant les périodes mai 1951/avril 1952 et mai 1952/avril 1953

In figuur 3 zijn de maandpercentages uit de tabel 2 ter nadere verduidelijking grafisch weergegeven. De grafiek wijst nog wel in de richting van enige seizoeninvloed. Gedurende de zomermaanden zijn de percentages nl. over het algemeen hoger, dan gedurende de wintermaanden.

Op grond van de opgedane ervaring werd in April 1953 overgegaan tot het

plaatsen van een regenmeter in een gewone opstelling direct naast regenmeter nr 1, teneinde dit verschil beter te kunnen bestuderen.

Voor de per balansperiode met betrekking tot de neerslag in rekening te brengen hoeveelheden, wordt verwezen naar de gegevens in de tabel 4 van dit artikel.

I. Op grond van de verkregen inlichtingen mocht aanvankelijk worden aangenomen, dat niet op inlaten van water gerekend behoefde te worden. Nadat in de droge zomer van 1947 de polder met watergebrek te kampen kreeg en derhalve op primitieve wijze tot het inlaten van water moest worden overgegaan, werd tot de bouw van een inlaatduiker met meetschot besloten. Deze installatie kwam in Juli 1949 gereed. Nadat het meetschot geijkt was (zie fig. 4), konden op eenvoudige wijze de ingelaten hoeveelheden water worden berekend.

FIG. 4. Capaciteitskromme inlaatduiker

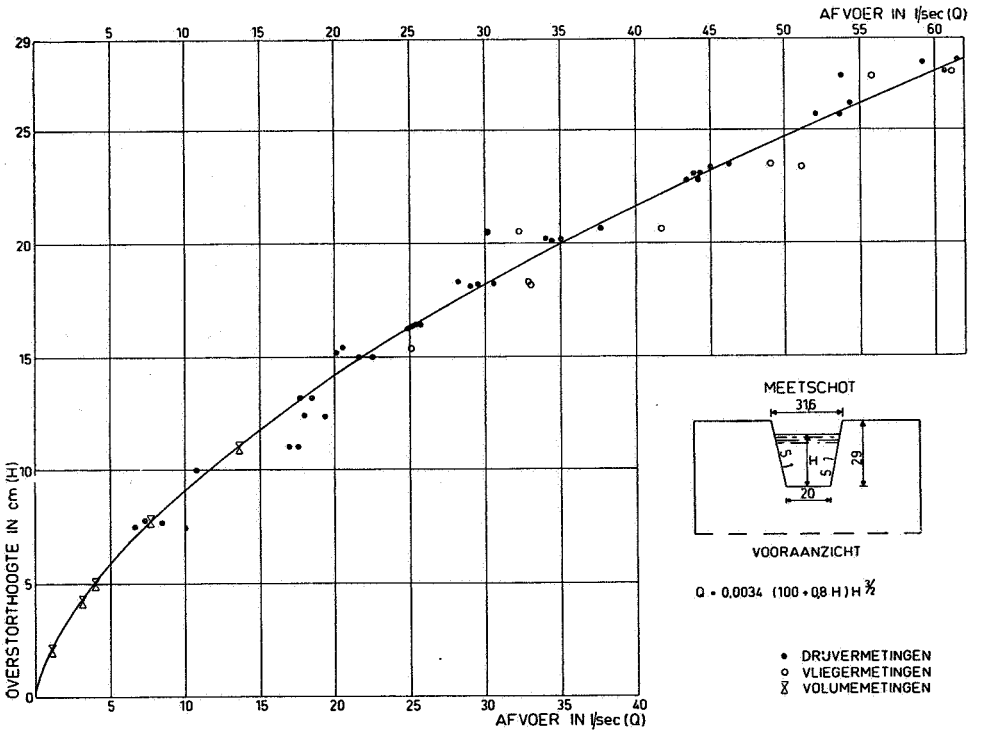


FIG. 4. *Capacity curve irrigation culvert*
FIG. 4. *Courbe de capacité de l'aqueduc d'irrigation*

Bij extreem hoog oplopende boezemstanden, welke bij uitzondering voorkwamen, bleken de tussen de boezem en de polder gelegen kaden niet geheel waterkerend meer te zijn. Onder deze omstandigheden was een enkele maal water in oncontroleerbare hoeveelheden in de polder gekomen. De op grond van een globale raming vastgestelde

hoeveelheden waren relatief gering. Maatregelen werden inmiddels genomen om deze lekkages te voorkomen, dan wel te beperken.

K. Teneinde te kunnen vaststellen of met positieve dan wel met negatieve kwel (inzijging) rekening gehouden moest worden, werd door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in 1946 een 4-tal boringen (I t/m IV) in de polder uitgevoerd, waarbij de boorgaten met behulp van peilbuizen van uiteenlopende lengte werden ingericht tot waarnemingspunten voor de stijghoogte van het diepe grondwater. De diepteligging der 7 filters varieert van ongeveer 10 tot ongeveer 45 m — N.A.P.

Op grond van de geschatte waarden der doorlatendheidsfactoren van de aangeboorde grondlagen en van het geringe verschil — hetzij positief hetzij negatief — tussen het gemiddelde polderpeil en de gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater is de conclusie gerechtvaardigd, dat — voorzover enige kwel mocht optreden — deze van te verwaarloosbare omvang zal zijn. De term K in de formule voor V kan derhalve op nul gesteld worden.

Ter nadere oriëntering geeft tabel 3a voor de 5 jaren omvattende periode 1948/1952 kwartaals- en jaarsgewijze een overzicht van de stijghoogten van het diepe grondwater in een 7-tal peilbuizen, de gem. stijghoogten van het phreatisch water in 14 (gedurende 1948/1951) resp. 11 (gedurende 1952) verspreid over de polder geplaatste peilbuizen (z.g. landbouwbuizen), het gem. polderpeil (32 peilschalen), het gem. boezempeil, de hoeveelheden neerslag en het peil in de omliggende polders.

Met betrekking tot de vermelde standen van het diepe grondwater kan worden opgemerkt, dat in de filters nrs II.1 en III.1 over het algemeen een gemiddeld 4 à 5 cm lagere waterstand optreedt, dan in de filters nrs I.1 en IV.1 het geval is, hetgeen dus wijst op een zeer gering verhang van noord naar zuid. Eveneens geeft filter nr III.2 een lagere (8 à 9 cm) waterstand aan dan filter nr I.2, d.w.z. een iets sterker verhang dan voor de filters nr 1 het geval is.

De gemiddelde stijghoogten per tijdvak volgens de 4 filters nr 1 komen practisch geheel overeen met die volgens de 7 filters tezamen. De gemiddelden volgens de 2 filters nr 2 liggen echter over het algemeen ongeveer 4 à 5 cm boven en de stijghoogte volgens filter nr 1.3 ligt over het algemeen 6 à 8 cm onder het algemeen gemiddelde. Het verhang in verticale zin is derhalve uiterst gering en naar de diepte toe wisselend van teken. Met inachtneming van de verschillen, welke het gevolg zijn van het bij de aanleg der filters geconstateerde verschil in zoutgehalte tussen het uit de verschillende lagen afkomstige water, kan worden vastgesteld, dat een waterbeweging in verticale richting practisch van geen betekenis is.

Uit de waterstanden, welke zijn waargenomen in de omliggende polders blijkt, dat het peil in de ten zuidoosten van het Damsterdiep gelegen polders bijna 40 cm lager is, dan dat van de Rottegatspolder en de direct hieraan grenzende polders. Het gemiddelde boezempeil bedraagt 0,83 m — N.A.P. Voorzover het peil van het Damsterdiep of de lage polderpeilen in de Boltjerpolder en in de Fledderbosscherpolder het optreden van kwel mogelijk zouden bevorderen, dan zou voor de waterbalans — in verband met de richting waarin een eventuele kwel zou optreden — alleen het verschil in kwel van belang zijn.

TABEL 3a. De stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, het polderpeil, het boezempeil en afzonderlijk voor elk der 5 jaren

	Diep grondwater *Deep groundwater* *Eau souterraine profonde*							
Boring nr *Sondage no*	IV	I	II	III	I	III	I	Gemiddelde stijghoogte *Mean rising-height* *Hauteur d'ascension moyenne*
Filter nr *Filtre no*	1	1	1	1	2	2	3	
Filterdiepte in m — N.A.P. *Filterdepth in m — N.A.P.* *Profondeur de filtration en m — N.A.P.*	14,2	16,3	10,6	13,3	25,3	24,9	45,3	
Tijdvak *Period* *Période*	Waterstanden *Waterlevels* *Niveaux d'eau*							
Jan. t/m Maart 1948	132	126	140	130	120	130	132	130
April t/m Juni 1948	153	154	157	162	169	161	161	158
Juli t/m Sept. 1948	162	159	160	164	157	165	169	162
Oct. t/m Dec. 1948	155	153	155	159	150	159	162	156
Jan. t/m Maart 1949	144	143	149	150	139	149	151	146
April t/m Juni 1949	151	151	155	156	146	155	158	153
Juli t/m Sept. 1949	179	175	176	180	170	179	182	177
Oct. t/m Dec. 1949	162	161	164	165	156	164	169	163
Jan. t/m Maart 1950	134	135	140	140	132	139	139	137
April t/m Juni 1950	146	146	151	151	142	151	153	149
Juli t/m Sept. 1950	157	154	157	159	150	159	161	157
Oct. t/m Dec. 1950	129	131	135	137	128	136	140	134
Jan. t/m Maart 1951	131	132	140	137	126	136	137	134
April t/m Juni 1951	140	141	145	147	138	146	149	144
Juli t/m Sept. 1951	174	171	171	175	165	173	176	172
Oct. t/m Dec. 1951	162	161	163	166	158	166	170	163
Jan. t/m Maart 1952	136	137	143	144	133	143	144	140
April t/m Juni 1952	155	154	156	161	151	160	162	157
Juli t/m Sept. 1952	166	163	161	167	160	167	170	165
Oct. t/m Dec. 1952	128	131	135	136	128	136	137	133
Jaar *(year)* *(année)* 1948	150	148	153	154	144	154	156	151
1949	159	158	161	162	153	162	165	160
1950	141	142	146	147	138	146	149	144
1951	152	151	155	156	147	155	158	153
1952	146	146	149	152	143	152	153	149
Jaar 1948/1952 gemiddeld *(average)* *(moyenne)*	150	149	153	154	145	154	156	151

TABLE 3a. *The rising heights of the deep and the shallow groundwater, the polderlevel, the "boezem"- annually separately for each of the*

TABLEAU 3a. *Les hauteurs d'ascension de l'eau souterraine et superficielle, le niveau du polder, le niveau et annuellement, séparément pour chacune*

de hoeveelheid neerslag, alsmede de polderpeilen van de omliggende polders, per kwartaal en per jaar van de periode 1948–1952

Gemiddeld peil ondiep grondwater *Mean level of shallow groundwater* *Niveau moyen de l'eau souterraine superficielle*	Gemiddeld polderpeil *Mean polder-level* *Niveau moyen du polder*	Gemiddeld boezempeil *Mean "boezem"-level* *Niveau moyen du „boezem"*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation*	Waterstanden in omliggende polders *Waterlevels in adjacent polders* *Niveaux d'eau dans les polders circonvoisins*					
				Garmerwolder polder	Langelandstermolen polder	Swieringa-polder	Kaakheemster-polder	Boltjerpolder	Fledderbosscherpolder
in cm — N.A.P. *in cm — N.A.P.* *en cm — N.A.P.*			in mm *in mm* *en mm*	Waterstanden in cm — N.A.P. *Waterlevels in cm — N.A.P.* *Niveaux d'eau en cm — N.A.P.*					
121	148	66	219	155	151	131	146	186	180
152	154	86	191	168	165	144	169	198	192
146	148	86	260	159	158	137	157	196	193
146	151	89	98	165	160	142	164	195	193
136	154	96	112	173	164	144	165	209	193
145	152	88	166	165	163	144	162	207	192
167	160	83	150	176	179	.	168	209	196
152	153	75	280	162	155	.	161	207	190
128	151	86	165	165	157	143	162	202	188
137	149	87	182	162	160	142	162	204	191
141	151	78	368	162	164	142	153	207	190
119	148	77	183	160	164	142	158	207	187
121	145	76	238	159	168	140	170	204	185
132	147	90	176	163	167	143	168	206	189
164	157	86	159	170	174	.	169	207	194
148	156	83	211	170	174	.	173	202	192
128	150	88	158	161	172	142	174	203	191
145	155	85	112	167	172	151	177	205	194
153	154	85	278	162	169	.	170	201	193
135	148	78	228	154	165	139	170	202	184
140	150	82	768	162	159	138	159	194	189
150	155	85	708	169	165	.	164	208	193
131	150	82	898	162	161	142	159	205	189
141	151	84	784	166	170	144	170	205	190
140	152	84	776	161	170	.	173	203	191
140	152	83	787	164	165	.	165	203	190

level and the quantity of precipitation, as well as the polderlevels of the adjacent polders, quarterly and 5 years of the period 1948–1952

du „boezem" et la quantité de précipitation, ainsi que les niveaux des polders circonvoisins, trimestriellement des années de la période 1948–1952

TABEL 3b. De stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, het polderpeil, het boezempeil en de
per jaar, gemiddeld voor de 5 jaren van

	Diep grondwater *Deep groundwater* *Eau souterraine profonde*							
Boring nr . . . . . *Sondage no*	IV	I	II	III	I	III	I	Gemiddelde stijghoogte *Mean rising-height* *Hauteur d'ascension moyenne*
Filter nr . . . . . *Filtre no*	1	1	1	1	2	2	3	
Filterdiepte in m — N.A.P. . . . . *Filterdepth in m — N.A.P.* *Profondeur de filtration en m — N.A.P.*	14,2	16,3	10,6	13,3	25,3	24,9	45,3	
Tijdvak *Period* *Période*	Waterstanden *Waterlevels* *Niveaux d'eau*							
Jan. 1948 t/m 1952	132	134	140	140	129	139	140	137
Febr. 1948 t/m 1952	134	136	141	141	130	141	143	138
Maart 1948 t/m 1952	140	134	147	140	130	139	132	138
April 1948 t/m 1952	140	142	147	149	137	148	149	145
Mei 1948 t/m 1952	148	148	152	154	144	154	156	151
Juni 1948 t/m 1952	159	157	160	163	154	163	165	160
Juli 1948 t/m 1952	169	166	167	171	162	170	173	168
Aug. 1948 t/m 1952	170	167	168	171	162	170	173	169
Sept. 1948 t/m 1952	164	161	160	164	157	164	168	163
Oct. 1948 t/m 1952	160	159	160	163	155	162	167	161
Nov. 1948 t/m 1952	148	149	152	153	146	154	156	151
Dec. 1948 t/m 1952	128	135	140	141	132	141	144	137
1e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	135	135	143	140	130	140	138	138
2e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	149	149	153	155	145	155	157	152
3e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	168	165	165	169	160	168	171	167
4e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	145	148	151	152	144	152	156	150
Jaar *(year) (année)* 1948 t/m 1952 .	149	149	153	154	145	154	156	151

TABLE 3b. *The rising heights of the deep and the shallow groundwater, the polderlevel, the "boezem"-level and*
annually, average for the 5 years of

TABLEAU 3b. *Les hauteurs d'ascension de l'eau souterraine profonde et superficielle, ainsi que des niveaux*
la période 1948–1952

Teneinde een indruk te verkrijgen van de gedragingen gemiddeld per jaar voor de 5-jarige periode 1948—1952 van de grondwaterstanden e.d. van maand tot maand en van kwartaal tot kwartaal, zijn de voor de samenstelling van tabel nr 3a gebruikte gegevens eveneens bewerkt voor de afzonderlijke maanden en kwartalen en voor het gehele jaar (zie tabel 3b). Vanzelfsprekend komt het 5-jaargemiddelde uit tabel 3a overeen met het 5-jaargemiddelde uit tabel 3b, behoudens enkele tengevolge van ingevoerde afrondingen ontstane afwijkingen. In figuur 5 is het cijfermateriaal van tabel 3b grafisch weergegeven.

Zoals uit de gegevens voorkomende in de tabellen 3a en 3b kan worden afgeleid

ıoeveelheid neerslag, alsmede de polderpeilen van de omliggende polders, per maand, per kwartaal en le periode 1948–1952 (zie figuur nr 5)

Gemiddeld peil ondiep grondwater *Mean level of shallow groundwater* *Niveau moyen de l'eau souterraine superficielle*	Gemiddeld polderpeil *Mean polder-level* *Niveau moyen du polder*	Gemiddeld boezempeil *Mean "boezem"-level* *Niveau moyen du „boezem"*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation*	Waterstanden in omliggende polders *Waterlevels in adjacent polders* *Niveaux d'eau dans les polders circonvoisins*					
				Garmerwolder polder	Langelandster-molen polder	Swieringa-polder	Kaakheemster-polder	Boltjerpolder	Fledder-bosscherpolder
ı cm — N.A.P. ı *cm — N.A.P.* *n cm — N.A.P.*			in mm *in mm* *en mm*	Waterstanden in cm — N.A.P. *Waterlevels in cm — N.A.P.* *Niveaux d'eau en cm — N.A.P.*					
121	144	68	82	161	152	135	157	197	183
131	150	87	52	162	165	141	164	201	188
132	150	93	44	165	164	144	168	204	190
131	152	93	57	162	165	143	171	203	191
143	149	84	59	163	162	142	166	204	191
152	153	85	50	168	168	149	164	205	193
155	158	85	76	168	172	152	164	206	194
154	154	85	84	165	168	139	163	204	193
153	150	81	83	163	166	138	161	203	192
154	155	83	40	167	168	139	166	204	193
140	151	80	92	163	164	141	164	201	188
126	148	78	68	157	158	141	164	203	187
128	148	83	178	163	162	140	163	201	187
142	151	87	166	164	165	145	167	204	192
154	154	84	243	165	169	143	163	204	193
140	151	80	200	162	163	140	165	203	189
141	151	84	787	164	165	142	165	203	190

he quantity of precipitation, as well as of the polderlevels of the adjacent polders, monthly, quarterly and he period 1948–1952 (see fig. 5)

les polders circonvoisins, mensuellement, trimestriellement et annuellement; moyennes pour les 5 années de voir figure no 5)

is er bij het verloop van de stijghoogten van het diepe en van het ondiepe grondwater sprake van een sterke seizoensinvloed. In de wintermaanden ofwel het natte seizoen zijn de verschillende peilen aanzienlijk hoger dan in de zomermaanden, welke het droge seizoen omvatten. Het diepe grondwater daalt in de zomer in de waarnemingsbuizen tot ongeveer 8 cm beneden het gemiddelde zomerpolderpeil, terwijl in de winter het peil, tot waarop het diepe grondwater in de waarnemingsbuizen stijgt, ongeveer 12 cm hoger is dan het gemiddelde winterpolderpeil. Dit laatste ligt 3 cm hoger dan het gemiddelde zomerpolderpeil.

Wordt de stijghoogte van het diepe grondwater vergeleken met het peil van het

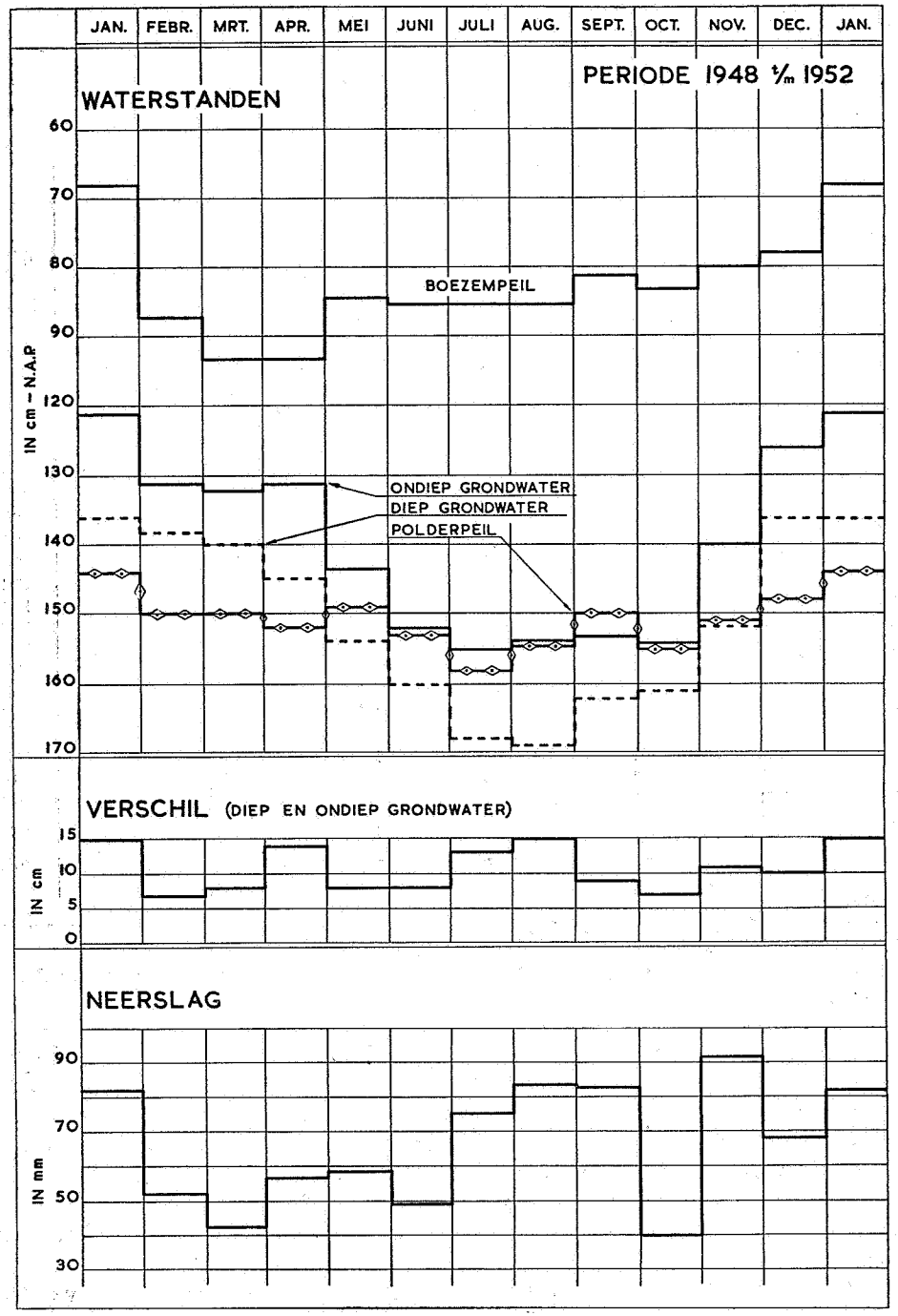

JAN.
FEBR.
MRT.
APR.
MEI
JUNI
JULI
AUG.
SEPT.
OCT.
NOV.
DEC.
JAN.
PERIODE 1948 t/m 1952
WATERSTANDEN
IN cm – N.A.P
60
70
80
90
120
130
140
150
160
170
BOEZEMPEIL
ONDIEP GRONDWATER
DIEP GRONDWATER
POLDERPEIL
VERSCHIL (DIEP EN ONDIEP GRONDWATER)
IN cm
15
10
5
0
NEERSLAG
IN mm
90
70
50
30

FIG. 5. Het verloop per maand gemiddeld voor de 5-jarige periode 1948–1952 van de stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, van het verschil tussen deze stijghoogten, van het boezem- en het polderpeil en van de hoeveelheid neerslag (zie ook tabel 3b)

FIG. 5. *The course per month as an average of the 5 years period 1948–1952 of the rising altitudes of the deep and the shallow groundwater, of the difference between these altitudes, of the „boezem"- and the polder level and of the quantity of precipitation (see also table 3b)*

FIG. 5. *Le cours mensuel moyen pour la période de 5 années 1948–1952 des altitudes d'ascension de l'eau souterraine profonde et superficielle, de la différence entre ces altitudes d'ascension, du niveau du „boezem" et du polder et de la quantité de précipitation (voir aussi tableau 3b)*

ondiepe grondwater, dan is het laatstgenoemde peil steeds hoger dan het eerstgenoemde en wel in de zomerperiode gemiddeld ongeveer 9 cm en in de winterperiode ongeveer 12 cm (zie ook figuur 5).

Daar voorts in de winterperiode het polderpeil kunstmatig beïnvloed wordt door het in bedrijf zijn van de bemalingsinstallatie, terwijl voor de zomerperiode — waarin slechts bij hoge uitzondering water wordt ingelaten — van kunstmatig ingrijpen nauwelijks sprake is, is op grond van een uitvoerige bewerking van het beschikbare waarnemingsmateriaal gebleken, dat de stijghoogten van het diepe grondwater en de stand van het ondiepe grondwater niet door de kunstmatige wijzigingen van het polderpeil ten gevolge van het malen beïnvloed worden.

L. Van het voor de lozing van het overtollige water bestemde vijzelgemaal werd aan de hand van een groot aantal in de toe- en afvoersloot uitgevoerde stroomsnelheidsmetingen de opbrengst bij verschillende hoogten van het polderpeil bepaald. Hierdoor was het mogelijk een capaciteitskromme voor het gemaal op te stellen (zie fig. 6). Met behulp van de voor elke lozing opgenomen gegevens inzake de tijdsduur en het verloop van het polderpeil, werden de hoeveelheden geloosd water vervolgens vastgesteld.

G. Ter bepaling van de wijziging per balansperiode van de hoeveelheden in de grond geborgen water, is het noodzakelijk de hoeveelheden boven een bepaald vlak in de bodem geborgen water aan het begin en aan het einde van de in beschouwing genomen periode vast te stellen. Van alle bekende methoden ter bepaling van deze waterberging werd met het oog op het verkrijgen van een zo nauwkeurig mogelijk resultaat en een practische uitvoerbaarheid zonder in onevenredig hoge kosten te vervallen, de voorkeur gegeven aan de methode van de periodieke grondvochtbemonsteringen.

De — van bemonsteringsveldje tot bemonsteringsveldje — geconstateerde verschillen in de vochtgehalten van de bodem kunnen veroorzaakt worden door de heterogeniteit van de bodem, het verschil in de neerslag en het verschil in de verdamping.

Op grond van het op uiteenlopende wijze uitvoeren van de gekozen methode kon worden geconcludeerd, dat het verschil in de verdamping van veldje tot veldje een even belangrijke, zo niet belangrijkere rol speelt dan de heterogeniteit van de bodem. Onder deze omstandigheden werd het practisch onuitvoerbaar geacht om met de thans bekende methoden en beschikbare hulpmiddelen de verdamping uit de gehele

FIG. 6. Capaciteitskromme van het vijzelgemaal

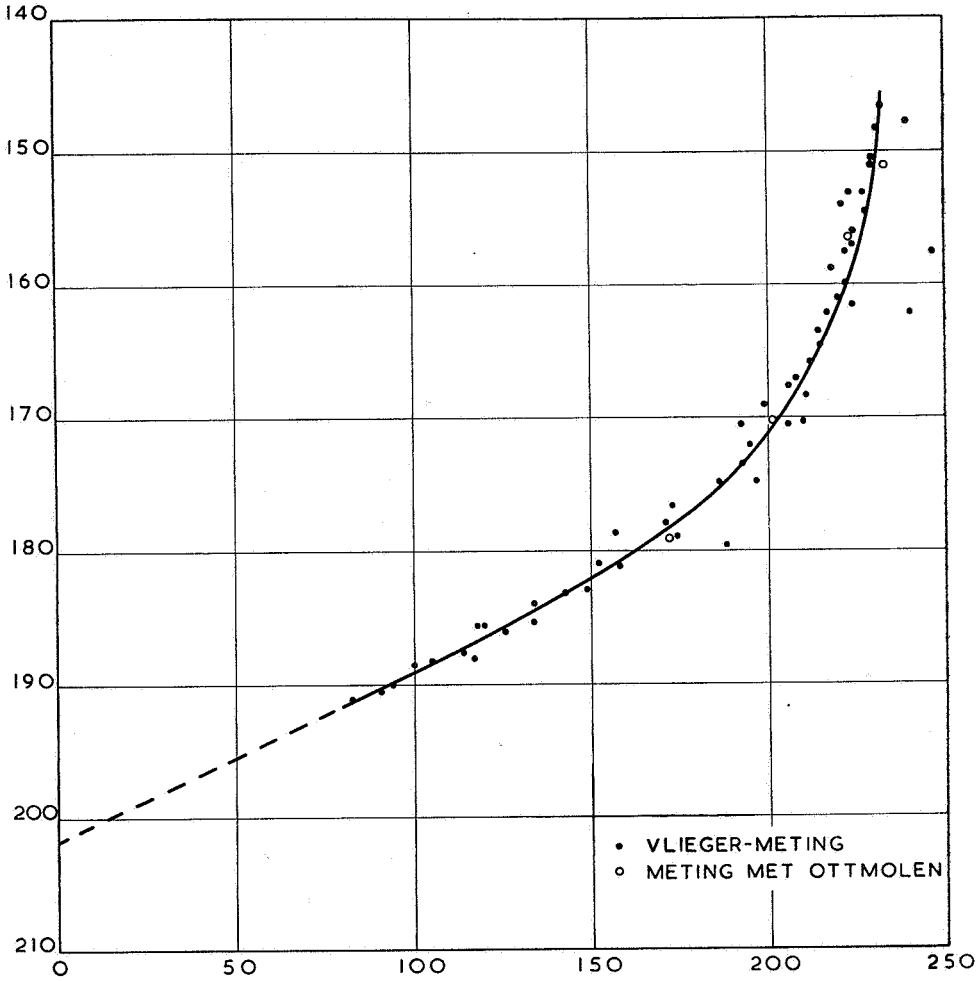


FIG. 6. *Capacity curve of the screw-pumpstation*

FIG. 6. *Courbe de capacité du station d'épuisement à vérin*

polder voor perioden van één maand op een bevredigend nauwkeurige wijze te berekenen, met behulp van de methode van de waterbalans. Besloten werd daarom — aanvangende met het waarnemingsjaar October 1950/October 1951 — de balansperiode voor de gehele polder op ongeveer 3 maanden te stellen, met dien verstande, dat het laatste kwartaal in een kalenderjaar en het eerste kwartaal in het daaropvolgende kalenderjaar eventueel tot één balansperiode zouden worden samengevoegd, indien de middelbare afwijkingen in de voor de grondvochttoenemingen gevonden

waarden over een periode van 3 maanden te groot zouden zijn, om de verdamping over die kwartalen voldoende nauwkeurig te kunnen berekenen.

In Hoofdstuk IV wordt uitvoerig ingegaan op de problemen verbonden aan de grondvochtbemonsteringen en aan het bepalen van de wijzigingen per balansperiode in de hoeveelheden in de bodem geborgen water.

S. Ten behoeve van de bepalingen van het verschil tussen de hoeveelheden — aan het begin en het einde van een balansperiode — in de sloten en plassen van de Rottegatspolder geborgen water, werden bij verschillende waterstanden de oppervlakten (= tezamen 3 à 4% van het totale polderoppervlak) van de slootwaterspiegels c.a. opgemeten. Uit deze gegevens en de uit de peilschaalwaarnemingen afgeleide verschillen in de slootpeilen, werd voor elke periode de grootte van S bepaald.

3. Overzicht der meetresultaten

In tabel 4 is het resultaat (in mm) van de uitgevoerde metingen en berekeningen opgenomen.

De gegevens voor deze tabel zijn ontleend aan de „Verslagen betreffende het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder" (Lit. 3). Voor R en G is echter rekening gehouden met achteraf wenselijk gebleken wijzigingen van ondergeschikte aard.

Opgemerkt wordt, dat in het late najaar van 1951 verschillende percelen grasland werden omgeploegd en voor bouwland werden bestemd. Tot dat tijdstip bestond de polder voor 59% uit bouwland en voor 29% uit grasland; nadien zijn deze percentages resp. 75% en 13% geworden.

TABEL 4. Gegevens in mm voor de waterbalans van de Rottegatspolder

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation* R	Inlating *Inlet* *Irrigation* I	Lozing *Drainage* *Décharge* L	Wijziging grondwaterberging *Changes in groundwater-storage* *Modification du dépôt d'eau souterraine* G	Wijziging slootwaterberging *Changes in ditchwater-storage* *Modification du dépôt d'eau des fossés* S	Verdamping V = R + I–L–G–S per *Evaporation* V = R + I–L–G–S *per* *Evaporation* V = R + I–L–G–S *par* periode *period* *période*	dag *day* *jour*
3- 2-1948/ 1- 4-1948	57	74	0	72	– 11	– 3	16	0,28
1- 4-1948/ 3- 5-1948	32	62	0	14	– 7	2	53	1,62
3- 5-1948/ 1- 6-1948	29	44	0	0	– 21	– 1	66	2,28
1- 6-1948/ 1- 7-1948	30	96	0	0	– 6	0	102	3,40
1- 7-1948/ 2- 8-1948	32	72	0	0	– 24	– 1	97	3,03
2- 8-1948/ 2- 9-1948	31	110	0	0	26	5	79	2,55
2- 9-1948/ 5-10-1948	33	80	0	12	14	– 1	55	1,67
5-10-1948/ 1-11-1948	27	31	0	0	5	0	26	0,96
1-11-1948/ 2-12-1948	31	29	0	9	5	– 2	17	0,55
2-12-1948/10- 1-1949	39	55	0	35	31	2	– 13	– 0,30
10- 1-1949/ 2- 2-1949	23	23	0	20	3	0	0	0,00
2- 2-1949/ 2- 3-1949	28	50	0	24	15	2	9	0,31
2- 3-1949/31- 3-1949	29	28	0	26	– 43	0	45	1,55
31- 3-1949/ 2- 5-1949	32	71	0	15	– 5	2	59	1,84
2- 5-1949/ 1- 6-1949	30	75	0	7	10	0	58	1,93
1- 6-1949/30- 6-1949	29	25	0	0	– 49	– 3	77	2,66
30- 6-1949/ 1- 8-1949	32	55	4	0	– 33	– 1	93	2,91
1- 8-1949/ 2- 9-1949	32	66	6	0	– 21	0	93	2,91
2- 9-1949/ 4-10-1949	32	34	5	0	18	– 1	22	0,69
4-10-1949/ 2-11-1949	29	52	4	0	14	0	42	1,45
2-11-1949/ 1-12-1949	29	134	0	43	63	4	24	0,83
1-12-1949/ 3- 1-1950	33	126	0	103	4	3	16	0,48
3- 1-1950/19- 5-1950	136	277	0	151	– 63	– 1	190	1,40
19- 5-1950/ 2- 6-1950	14	37	0	2	1	2	32	2,28
2- 6-1950/ 4- 7-1950	32	64	0	0	– 32	– 5	101	3,15
4- 7-1950/ 1- 8-1950	28	79	0	0	11	– 2	70	2,50
1- 8-1950/ 5- 9-1950	35	117	2	0	6	6	107	3,06
5- 9-1950/ 2-10-1950	27	163	0	89	15	– 1	60	2,22
*								
19- 4-1951/10- 7-1951	82	144	0	21	– 48	– 2	173	2,11
10- 7-1951/ 4-10-1951	86	142	16	0	– 20	– 2	179	2,08
4-10-1951/15- 1-1952	103	271	0	121	81	5	64	0,62
15- 1-1952/10- 4-1952	86	131	0	107	0	– 4	28	0,33
10- 4-1952/ 7- 8-1952	119	250	12	2	– 58	2	316	2,66
7- 8-1952/ 4-11-1952	89	222	0	35	56	– 1	132	1,48

* Voor de periode 2-10-1950/19-4-1951 wordt door bijzondere omstandigheden niet over gegevens betreffende de wijziging van de grondwaterberging (G) beschikt.

* *For the period 2-10-1950/19-4-1951 no data concerning the groundwaterstorage (G) are available, owing to particular circumstances.*

* *Pour la période 2-10-1950/19-4-1951 on n'a pas la disposition de données concernant la modification du depôt d'eau souterraine (G), à cause de circonstances exceptionelles.*

TABLE 4. *Data for the waterbalance of the Rottegatspolder*

TABLEAU 4. *Données pour le bilan d'eau du Rottegatspolder*

IV. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR VIER DRAINAGE-LYSIMETERVAKKEN

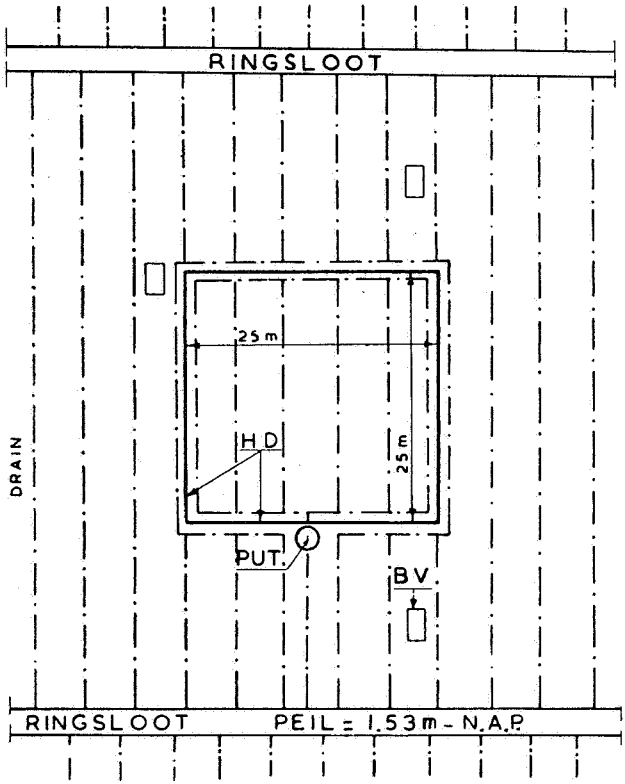
1. Algemeen

De plannen voor het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder omvatten ook de inrichting van lysimeters, waarmede beoogd werd verhoudingsgetallen voor de verdamping van diverse gewassen te verkrijgen. Met de beschikking over deze verhoudingsgetallen werd het mogelijk geacht om de verdampingscijfers, met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport gevonden voor grasland, te vergelijken met de verdampingscijfers, welke voor de polder uit de waterbalans zijn afgeleid.

Oorspronkelijk werd overwogen weegbare lysimeters te benutten, welke met verschillende gewassen zouden moeten worden beteeld. Verschillende bezwaren, welke aan het gebruik van dergelijke lysimeters kleven, hebben echter tot gevolg gehad, dat hiervan werd afgezien. Het bodemprofiel van de Rottegatspolder bestaat nl. uit klei tot zware klei met onder de bouwvoor of zode vaak een taaie, knikachtige laag. Lysimeters gevuld met geroerde grond geven van de natuurlijke omstandigheden geen goede nabootsing, terwijl aan lysimeters gevuld met een blok ongeroerde grond uit deze polder eveneens bezwaren zijn verbonden. Een zeer belangrijk bezwaar was wel het vermoedelijk ontstaan van krimpscheuren, vooral langs de wanden, waardoor de af te voeren hoeveelheden overtollig regenwater vermoedelijk zelfs sterk zouden kunnen worden beïnvloed. Bovendien was er onzekerheid over de afmetingen, die dergelijke lysimeters zouden moeten hebben om — afgezien van de storende invloeden van krimpscheuren — betrouwbare resultaten te kunnen geven.

In verband met deze bezwaren leek de aanleg van zogenaamde drainage-lysimetervakken aantrekkelijk. De grond blijft hier, afgezien van de drainsleuven voor de aan te brengen drainreeksen, in de oorspronkelijke structuur. De bewerking en de verzorging van het gewas en de grond kunnen onder normale omstandigheden plaatsvinden. Verder kunnen dergelijke lysimetervakken (zie fig. 7) veel groter genomen worden dan weegbare lysimeters ooit kunnen zijn (in dit geval $25 \times 25 = 625$ m^2), waardoor heterogeniteiten in bodem en gewas een kleinere invloed zullen hebben. De momenteel bij het C.I.L.O. te Wageningen in gebruik zijnde, weegbare lysimeters zullen overigens wel leren, in hoeverre de genoemde bezwaren van weegbare lysimeters voor dergelijke zware grond al dan niet te zwaar zijn uitgemeten. Het grote voordeel van de drainage-lysimetervakken, waarvan er vier op een perceel van ongeveer 1,5 ha zijn aangelegd, is in elk geval, dat — mits dit gehele veld en dus ook de lysimetervakken met één gewas zijn beteeld — op ditzelfde veld ook de methode van het verticale waterdamptransport kan worden toegepast, waardoor een directe vergelijking van de resulterende gegevens, welke beide methoden opleveren, mogelijk is. Het nadeel van de drainage-lysimeters is, dat de verandering van de grondwaterberging niet door weging, maar op een andere veel moeilijker hanteerbare methode moet worden vastgesteld.

FIG. 7. Gedeelte van het drainage-lysimeterveld met een der 4 vakken



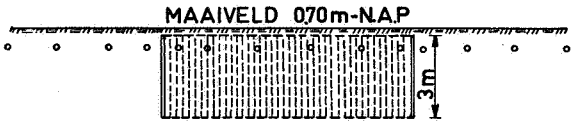


FIG. 7. *Part of the drainage-lysimeterfield with one of the 4 sections*
FIG. 7. *Partie du champ de drainage-lysimètre avec une des 4 sections*

Ook de methode met drainage-lysimetervakken berust uiteindelijk op het opstellen van een waterbalans.

Deze luidt: Neerslag + Inlaat = Lozing + Toeneming grondwaterberging + Verdamping (Evapotranspiratie) of

$$R + I = L + G + V$$

Aangezien kwel noch inzijging (infiltratie) op deze vakken mag optreden, bevat deze balans slechts 5 factoren.

Met drainage-lysimetervakken worden gedeelten van een perceel bedoeld, welke elk voorzien zijn van een drainage met behulp waarvan de overtollige neerslag voor elk gedeelte kan worden bepaald. Dit houdt in, dat de neerslag, welke buiten deze vakken valt, niet binnen deze vakken tot afvloeiing mag komen of omgekeerd. Gemeend werd dit te kunnen bereiken door de grondwaterstand binnen en buiten de vakken practisch constant en aan elkaar gelijk te houden, waartoe de volgende maatregelen werden genomen:

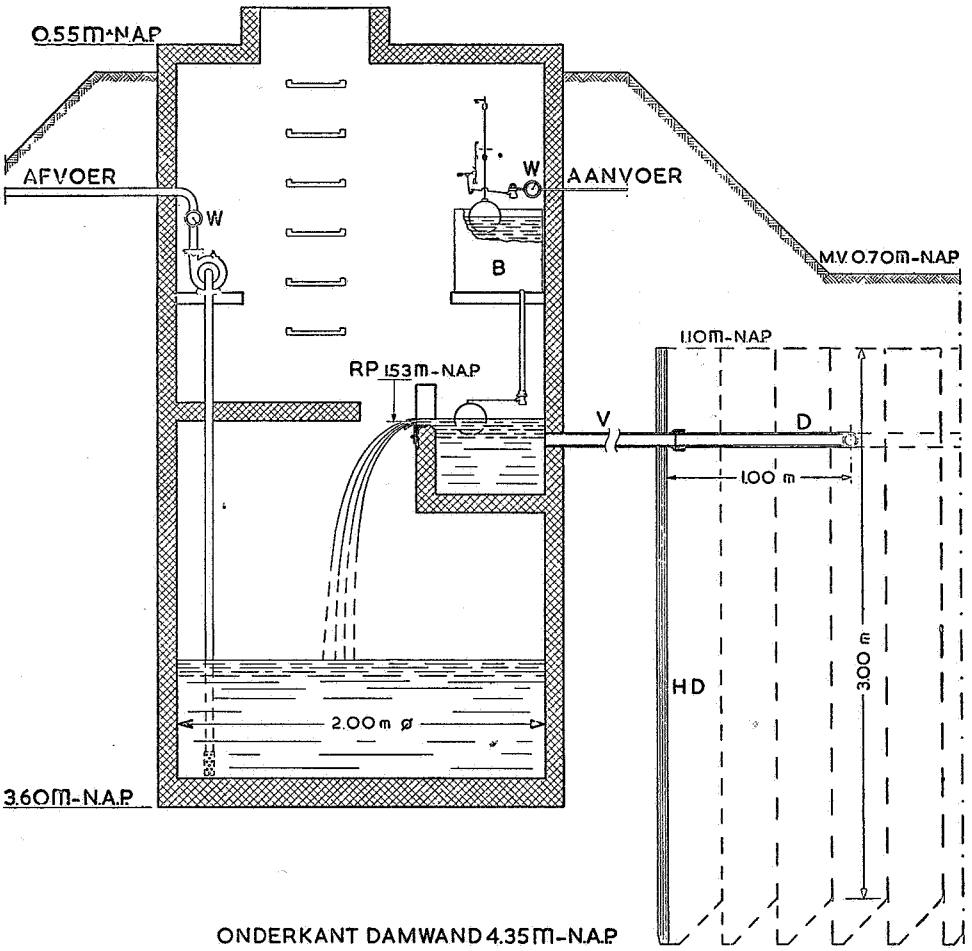
a. De ringsloot om het perceel, waarop de vier drainage-lysimetervakken werden aangelegd, werd van de overige sloten afgedamd en van een bemalings- en inlaatinstallatie voorzien. Hierdoor werd bereikt, dat het slootpeil gedurende het gehele jaar tot op 2 cm nauwkeurig constant bleef.

b. Het perceel, waarop de lysimetervakken werden aangelegd, werd evenals de aanliggende percelen gedraineerd, waarbij de horizontaal liggende drainreeksen onder water (hart drain 10 cm onder vastgesteld ringslootpeil) in de ringsloot uitmonden. De drainafstand (5 m) is in verband met de doorlatendheid zo gekozen, dat de variaties in de grondwaterstand zowel bij de optredende afvoeren van de overtollige neerslag, als bij de te verwachten aanvoeren van het benodigde water in droge perioden in de zomer te verwaarlozen zijn.
De draindiepte is ongeveer 90 cm — m.v. en het slootpeil ongeveer 80 cm — m.v. of 1,53 m — N.A.P.

c. De drainage-lysimetervakken werden eveneens voorzien van even diep horizontaal gelegde drainreeksen op 5 m onderlinge afstand. Een verzameldrain mondt daarbij telkens onder water uit in de resp. opvangbakken van deze lysimetervakken, welke bakken van een overstortrand op dezelfde hoogte als het gemiddelde slootpeil (1,53 m — N.A.P.) waren voorzien, waardoor het peil hierin in tijden van overtollige neerslag constant en gelijk was aan dat van het gemiddelde slootpeil. Het overvloeiende water werd naar een diepe bak afgevoerd, waaruit het tenslotte door middel van een pompje werd verwijderd en op de ringsloot werd geloosd. Met behulp van een in de pompleiding opgenomen watermeter konden de geloosde hoeveelheden nauwkeurig bepaald worden. In tijden van droogte werd weer water uit de waterleiding in deze opvangbakken ingelaten, waarvoor een vlotterinstallatie met buffertank werd geconstrueerd, zodat het peil in deze overstortbakken ook in deze perioden constant en gelijk was aan ca. 1,53 m — N.A.P. Ook deze ingelaten hoeveelheid leidingwater kon via een watermeter bepaald worden. De gehele installatie is ondergebracht in een aan- en afvoerput van gewapend beton, waarvan figuur 8 een geschematiseerd beeld geeft.

d. Om de vierkante lysimetervakken van 25 × 25 m voldoend nauwkeurig te omgrenzen werd een ringdrainreeks binnen deze vakken op 1 m uit de omtrek gelegd. De overige drainreeksen binnen deze vakken (zie sub c) werden op de ringdrain en deze weer op de verzameldrain aangesloten. Aan de buitenkant van deze vakken werd eveneens een ringdrainreeks gelegd op 1 m afstand uit de omtrek, welke drainreeks werd aangesloten op de drainreeksen op 5 m onderlinge afstand in het overige gedeelte van het perceel.

FIG. 8. Aanvoer- en afvoerput, zoals deze bij elk der 4 vakken van het drainage-lysimeterveld aanwezig is



B = buffertank
= *citerne-tampon*

HD = houten damwand
= *wooden sheet piling*
= *rideau en palplanches*

MV = maaiveld
= *surface level*
= *niveau du sol*

RP = ringslootpeil
= *waterlevel of encircling ditch*
= *niveau du fossé de ceinture*

V = verbindingsbuis
= *connecting tube*
= *tuyau de connexion*

W = watermeter
= *hydrometer*
= *hydromètre*

FIG. 8. *Supply- and discharge pit as present at each of the 4 sections of the drainage-lysimeterfield*

FIG. 8. *Puits d'amenée et de décharge, comme il est présent à chacune des 4 sections du champ de drainage-lysimètre*

Gemeend werd, dat met de genomen maatregelen de drainagesystemen binnen en buiten de 4 vakken van elkaar onafhankelijk zouden zijn en dat de overtollige neerslag c.q. de toegevoerde hoeveelheid water zich zo zou verdelen, dat de oppervlakte van elk der 4 vakken voldoende nauwkeurig op 625 m^2 mocht worden aangehouden. Vervolgens werd begonnen met op de vier proefvakken een zelfde gewas te telen om na te gaan, of er geen systematische verschillen tussen deze vakken in de aan- of afvoer bestonden. Als eerste gewas werd daartoe koolzaad gekozen, aangezien eventuele verschillen in de structuur en de doorlatendheid van de grond door dit diepwortelend gewas worden verkleind. Tot heden werd — in tegenstelling derhalve met het aanvankelijke voornemen — steeds één gewas op het drainage-lysimeterveld verbouwd, aangezien reeds spoedig bleek, dat de bepaling van het gemiddelde verschil in vochtinhoud zeer tijdrovend was, waardoor het onderzoekschema voorlopig moest worden vereenvoudigd.

2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans

Regenmetingen

Over de metingen van de neerslag is in Hoofdstuk III reeds een beschouwing opgenomen. Hier kan worden volstaan met op te merken, dat van het tijdstip af, waarop alle metingen van de verschillende factoren van de waterbalans met een voldoende benadering konden worden bepaald (8 Maart 1951), de regenval op het lysimeterveld berekend werd als het gemiddelde van de gemeten neerslag in de regenmeters nrs 1 en 3, welke ter weerszijden van het lysimeterveld in de polder waren opgesteld. Hierop moet een correctie worden toegepast, doordat de wijze van opstelling voor beide regenmeters verschillend is. In de toekomst zal dit nog niet geheel bevredigend verloop van deze metingen ondervangen worden door het bijplaatsen van een tweetal regenmeters op het lysimeterveld. De neerslaghoeveelheden gemeten van 8 Maart 1951 af t/m 4 Nov. 1952 zijn in tabel 5 medegedeeld. Moeilijkheden van betekenis zijn bij deze metingen niet opgetreden.

Af- en aanvoermetingen

Met het meten van de van of naar de drainage-lysimetervakken af- resp. aangevoerde hoeveelheden water werden wel moeilijkheden ondervonden.

Uit de metingen in het eerste waarnemingsjaar (Oct. 1947—Oct. 1948) bleek namelijk, dat deze hoeveelheden voor dezelfde maandelijkse perioden voor de vier lysimetervakken sterk, nl. 30 mm en meer, onderling uiteenliepen. Toch zijn de grootte en de inrichting van deze drainage-lysimetervakken dezelfde, terwijl op alle vakken hetzelfde gewas werd verbouwd en van vak tot vak het bodemprofiel ten hoogste weinig verschilt.

Het feit, dat het bodemprofiel ter plaatse van de drainreeksen geroerd is geweest, kan dit niet verklaren, aangezien bovengrondse afvoer niet voorkomt, alle drains op alle vakken precies gelijk zijn gelegd en de geconstateerde verschillen in verloop van tijd niet kleiner zijn geworden. Als oorzaak van deze onderlinge verschillen werd

TABEL 5. Neerslag (R) in mm volgens de regenmeters nrs 1 en 3

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	R_1	R_3 (gecorr.) *(corrected)* *(corrigé)*	$\bar{R}$	S ($\bar{R}$)
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	114	119	116	3
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	37	36	36	1
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	84	83	84	1
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	32	34	33	1
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	56	60	58	2
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	76	83	80	4
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	29	29	29	0
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	12	13	12	0
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	131	133	132	1
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	103	102	102	0
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	77	73	75	2
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	26	23	24	2
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	48	47	48	0
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	33	22	28	6
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	32	34	33	1
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	51	53	52	1
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	132	135	134	2
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	85	85	85	0
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	76	74	75	1
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	67	67	67	0

R_1 = neerslag volgens regenmeter nr 1, enz.
= *precipitation according to pluviometer nr 1, etc.*
= *précipitation selon le pluviomètre no 1, etc.*

$\bar{R}$ = gemiddelde neerslag
= *mean precipitation*
= *précipitation moyenne*

S ($\bar{R}$) = standaardafwijking van $\bar{R}$
= *standard deviation of* $\bar{R}$
= *déviation-type de* $\bar{R}$

TABLE 5. *Precipitation* (R) *in mm according to pluviometers nrs 1 and 3*
TABLEAU 5. *Précipitation* (R) *en mm selon les pluviomètres nos 1 et 3*

gedacht aan kwel en (of) inzijging, die voor alle vakken niet dezelfde behoeven te zijn, doordat de verschillen in de grondwaterstand binnen en buiten de vakken niet precies dezelfde zijn, resp. de dikte en de doorlatendheid van de goed doorlatende laag ter plaatse ook uiteen kunnen lopen.

Er werden diverse onderzoekingen verricht om na te gaan, of hieraan inderdaad de verschillen in de maandelijkse aan- of afgevoerde hoeveelheden water zijn toe te schrijven.

Op grond van de onderzoekingsresultaten werden in de periode Februari—Maart 1950 de vier lysimetervakken op de omtrek voorzien van houten damwanden, reikende van 0,5 tot 3,5 m — m.v., waardoor tevens een normale grondbewerking mogelijk

TABEL 6. Afgevoerde (+) resp. toegevoerde (—) hoeveelheden water in mm voor de drainage-lysimetervakken A, B, C en D

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	$L_A(+)$ of *or* *ou* $I_A(-)$	$L_B(+)$ of *or* *ou* $I_B(-)$	$L_C(+)$ of *or* *ou* $I_C(-)$	$L_D(+)$ of *or* *ou* $I_D(-)$	$\bar{L}(+)$ of *or* *ou* $\bar{I}(-)$	$S[\bar{L}]$ of *or* *ou* $S[\bar{I}]$
8 Maart 1951– 5 April 1951 . .	28	+ 73	+ 67	+ 73	+ 69	+ 70	2
5 April 1951– 2 Mei 1951 . .	27	+ 23	+ 22	+ 22	+ 23	+ 22	0
2 Mei 1951– 1 Juni 1951 . .	30	+ 27	+ 26	+ 26	+ 25	+ 26	0
1 Juni 1951– 3 Juli 1951 . . .	32	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	0
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951 . .	30	0	+ 1	— 1	0	0	0
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951 . .	33	— 11	— 11	— 16	— 13	— 13	1
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951 . .	28	— 9	— 7	— 10	— 9	— 9	1
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951 . .	29	— 6	— 4	— 6	— 6	— 6	1
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951 . .	34	+ 62	+ 64	+ 67	+ 63	+ 64	1
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952 . .	36	+ 94	+ 91	+ 93	+ 93	+ 93	1
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952 . .	28	+ 71	+ 69	+ 71	+ 69	+ 70	1
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952 . .	23	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20	0
29 Febr. 1952– 4 April 1952 . .	35	+ 29	+ 27	+ 29	+ 27	+ 28	1
4 April 1952– 2 Mei 1952 . .	28	+ 9	+ 9	+ 8	+ 9	+ 9	0
2 Mei 1952– 5 Juni 1952 . .	34	— 28	— 38	— 40	— 35	— 35	3
5 Juni 1952–27 Juni 1952 . .	22	— 29	— 34	— 33	— 33	— 32	1
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952 . .	35	— 33	— 30	— 29	— 30	— 30	1
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952 . .	32	+ 22	+ 25	+ 25	+ 26	+ 24	1
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952 . .	29	+ 14	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	0
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952 . .	29	+ 26	+ 25	+ 26	+ 25	+ 25	0

$L_{A,\ B,\ C,\ D}$ = afvoer (+) van
$I_{A,\ B,\ C,\ D}$ = toevoer (—) naar } de 4 vakken A, B, C en D.

Gemiddelde { afvoer = $\bar{L}$
toevoer = $\bar{I}$

Standaardafwijking van de gemiddelde { afvoer = $S[\bar{L}]$
toevoer = $S[\bar{I}]$

$L_{A,\ B,\ C,\ D}$ = *discharge* (+) of
$I_{A,\ B,\ C,\ D}$ = *supply* (—) to } *the 4 sections* A, B, C and D

Average { *discharge* (+) = $\bar{L}$
supply (—) = $\bar{I}$

Standard deviation of the average { *discharge* = $S\bar{L}$
supply = $S\bar{I}$

$L_{A,\ B,\ C,\ D}$ = *décharge* (+) *des*
$I_{A,\ B,\ C,\ D}$ = *amenée* (—) *vers* } *les 4 sections* A, B, C *et* D

Moyenne { *du décharge* (+) = $\bar{L}$
de l'amenée (—) = $\bar{I}$

Déviation-type de la moyenne { *du décharge* = $S\bar{L}$
de l'amenée = $S\bar{I}$

TABLE 6. *Discharged* (+), *resp. supplied* (—) *quantities of water in mm for the drainage-lysimetersections* A, B, C *and* D

TABLEAU 6. *Quantités d'eau de décharge* (+) *resp. d'amenée* (—) *en mm pour les sections de drainage-lysimètres* A, B, C *et* D

bleef. De damwand te laten beginnen op 50 cm — m.v. is toelaatbaar door de constante grondwaterstand op 80 cm — m.v. en het ontbreken van bovengrondse afvoer. Een nog diepere damwand heeft weinig zin, doordat op meer dan 3,5 m — m.v. spoedig het pleistocene zand is te verwachten.

Deze damwand (zie fig. 7 en 8) kwam in Maart 1950 gereed. Afgezien van een korte overgangstijd waren nadien de aan- of afvoeren van de 4 vakken vrijwel gelijk. De standaardafwijking van het gemiddelde van de 4 vakken is meestal 0 tot 1 mm; een enkele maal iets hoger, zoals uit tabel 6 blijkt. (Zie blz. 245).

TABEL 7. Maximaal, gemiddeld en minimaal per dag afgevoerde (+) resp. toegevoerde (—) hoeveelheden water in mm, als gemiddelden voor de 4 drainage-lysimetervakken

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	Dagelijkse af- en aanvoer *Daily discharge or supply* *Décharge ou amenée par jour*		
		maximum	gemiddeld *mean* *moyenne*	minimum [1]
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	+ 19,10	+ 2,52	— 0,08 [1]
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	+ 5,02	+ 0,84	+ 0,14
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	+ 11,66	+ 0,86	+ 0,08
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	+ 0,36	+ 0,10	— 0,10 [1]
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	— 0,17	— 0,01	+ 0,16 [1]
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	— 0,78	— 0,39	+ 0,04 [1]
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	— 0,54	— 0,32	— 0,08
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	— 0,38	— 0,19	— 0,04
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	+ 12,48	+ 1,89	— 0,26 [1]
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	+ 11,44	+ 2,58	+ 0,12
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	+ 9,61	+ 2,50	+ 0,20
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	+ 5,18	+ 0,88	+ 0,12
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	+ 3,39	+ 0,81	+ 0,03
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	+ 3,60	+ 0,33	— 0,13 [1]
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	— 1,83	— 1,04	— 0,06
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	— 2,25	— 1,46	— 0,75
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	— 2,09	— 0,87	+ 5,81 [1]
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	+ 8,47	+ 0,76	— 0,10 [1]
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	+ 3,96	+ 0,51	— 0,11 [1]
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	+ 8,00	+ 0,88	+ 0,04

[1] Voor perioden, waarin gemiddeld „afvoer" resp. „toevoer" optrad en waarin naast de dagen met „afvoer" resp. „toevoer" ook enkele dagen met „toevoer" resp. „afvoer" zijn voorgekomen, is als „minimum" de maximum opgetreden „dagtoevoer" resp. „dagafvoer" vermeld.

[1] *For periods, in which averagely „discharge" resp. „supply" occured and in which, besides the days with „discharge" resp. „supply" also occured a few days with „supply" resp. „discharge", is stated as a „minimum" the highest „daily supply", resp. „daily discharge".*

[1] *Pour des périodes où se produisait en moyenne „décharge" resp. „amenée" et où, à côté des jours avec „décharge" resp. „amenée" se présentaient aussi quelques jours avec „amenée" resp. „décharge", on a pris comme „minimum" le maximum de „l'amenée par jour" resp. „du décharge" par jour",*

TABLE 7. *Maximum, mean and minimum quantities of water discharged (+) resp. supplied (—) per day, in mm as averages for the 4 drainage-lysimetersections*

TABLEAU 7. *Maximum, moyenne et minimum des quantités d'eau déchargées (+) resp. amenées (—) par jour en mm comme moyennes pour les 4 sections de drainage-lysimètre*

Voorts blijkt, dat ook deze meetresultaten voldoende nauwkeurig zijn geworden. De af- of aangevoerde hoeveelheden worden dagelijks (met uitzondering van de Zon- en feestdagen) bepaald. Deze waarnemingen, welke onder natuurlijke omstandigheden worden verricht, zijn ook voor vele andere doeleinden zeer waardevol. In tabel 7 is voor dezelfde perioden een overzicht gegeven van de hoogste, de gemiddelde en de laagste dagelijkse af- of aanvoer, als gemiddelden voor de 4 drainagelysimetervakken. De waargenomen hoeveelheden, welke betrekking hebben op meer dan 1 dag (b.v. de Maandagwaarnemingen) werden gelijkmatig verdeeld gedacht over de desbetreffende dagen.

Bepaling verschil in grondwaterberging

Tenslotte dient nog te worden besproken de bepaling van het verschil in grondwaterberging, welke wel de lastigste bleek te zijn bij het streven naar voldoend nauwkeurige waarden.

In wezen komt de bepaling hierop neer, dat men het verschil in de gemiddelde vochtinhoud van de lysimetervakken (resp. van de polder) aan het begin en aan het einde van de beschouwde perioden moet vaststellen. De diepte tot welke men telkens de vochtinhoud moet kennen, wordt bepaald door de diepteligging van de laag, waarvan de vochtinhoud constant blijft. Blijft de grondwaterstand practisch constant, zoals dit op en naast de lysimetervakken het geval is, dan wordt deze diepte aangegeven door deze grondwaterstand; verandert deze laatste, dan zou men hiervoor de diepste grondwaterstand kunnen kiezen als bepaalde omstandigheden dit althans niet beletten, zoals dit in de polder het geval bleek te zijn.

De bepaling komt verder hierop neer, dat men de vochtgehalten per 100 g droge stof op een voldoend aantal — verspreid over de gehele polder c.q. over de 4 vakken van het lysimeterveld gelegen — punten en van de diverse bodemlagen aan het begin en aan het einde van de te beschouwen perioden moet kennen, evenals het droge volumegewicht van deze lagen. Hieruit is dan aan het begin en aan het einde de vochtinhoud als een laag water in mm's uit te rekenen, door b.v. de vochtinhoud te beschouwen van een kolom grond van 1 cm^2 doorsnede en van een lengte gelijk aan de diepte, waarop de vochtinhoud constant blijft.

Nu zijn er uit de literatuur geen andere methoden bekend, die de mogelijkheid bieden dit vochtgehalte, *ook in het natte traject*, met een voldoende nauwkeurigheid vast te stellen, dan het nemen van grondmonsters en het bepalen van het vochtgehalte hierin door drogen. De monsters moeten verkregen worden uit boringen, welke in veelvoud en dikwijls verricht moeten worden. Hierdoor kunnen deze niet binnen de omtrek van de lysimetervakken, maar moeten deze op de grond daarnaast worden uitgevoerd. Tegen deze handelwijze bestaat weinig bezwaar, aangezien alle omstandigheden en zo ook de grondwaterstand gemiddeld genomen dezelfde zijn.

De dikte van de afzonderlijk bemonsterde lagen bedroeg (behoudens bij de eerste bemonsteringen van 1948) tot 40 cm diepte steeds 10 cm en daaronder 20 cm. De bemonsteringsdiepte in de polder werd vastgesteld op 140 cm, aangezien monsters genomen uit dieper gelegen lagen (soms ook reeds uit de lagen op meer dan 120

cm — m.v.) op verschillende plekken uit de boor lopen. Op het lysimeterveld was deze diepte eerst 100 cm en bedraagt thans 80 cm, aangezien deze diepte voldoende blijkt te zijn (grondwaterstand 80 cm — m.v.).

In dit verband kan verder nog worden opgemerkt, dat het niet mogelijk is om bij iedere bemonstering monsters van een bepaald volume te nemen, maar dat terwille van een vlot verloop volstaan moet worden met het trekken van min of meer willekeurig grote monsters, waarin het vochtgehalte in grammen per 100 g droge grond wordt bepaald. Deze vochtgehalten worden vervolgens met behulp van de eens voor altijd bepaalde volumegewichten (grammen droge grond per cm^3 bodem) omgerekend in mm water.

De bemonstering ter vaststelling van de volumegewichten in de onderscheidene lagen, waarop later nog uitvoeriger wordt teruggekomen, is op het lysimeterveld in 1952 geschied; voor de polder zal een voldoend nauwkeurige bepaling nog plaats moeten vinden.

Vóór 1952 is het volumegewicht voor alle op het lysimeterveld bemonsterde lagen gemakshalve op 1,0 gesteld; de juiste waarden bleken later uiteen te lopen van 1,20 tot 1,33. De daardoor voor de oudere resultaten vereiste correcties konden gemakkelijk worden aangebracht. In verband met de kleine standaardafwijkingen van de gebruikte volumegewichten hebben deze correcties vrijwel geen invloed op de procentuele nauwkeurigheid der bepaalde verschillen in vochtinhoud. Daardoor is het niet kennen van de volumegewichten geen bezwaar geweest voor het uitzoeken van de juiste bemonsteringswijze.

Aangezien door één bemonstering de vochtinhoud slechts op 1 punt bepaald wordt, moest worden nagegaan op hoeveel punten bemonsterd moest worden om voldoend nauwkeurige, gemiddelde verschillen in de vochtinhoud voor maandelijkse perioden te verkrijgen. Aangezien uiteraard niet op precies dezelfde punten nog eens geboord kan worden, betekent dit, dat rekening gehouden moest worden met de heterogeniteit van de bodem tot de bemonsteringsdiepte, zowel wat de samenstelling, als de structuur van de bodem betreft, daar beide de vochtinhoud beïnvloeden. Het aantal te verrichten boringen hangt daarbij af van de vereiste nauwkeurigheid. Neemt men in aanmerking, dat de verdamping in de maanden Nov. t/m Febr. slechts weinig mm's bedraagt en bedenkt men verder, dat het hoofddoel van dit onderzoek is de vergelijking van de verdampingsgegevens verkregen met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport met die, verkregen volgens de andere, toegepaste methoden, dan zal de standaardafwijking van het gemiddelde verschil in vochtberging voor maandelijkse perioden niet groter mogen zijn dan ca. 3 mm. Een reeds zware eis, welke nog verzwaard wordt door het feit, dat de bemonsteringen van het drainage-lysimeterveld en van de polder ieder liefst in één dag of samen in elk geval in niet veel meer dan ongeveer 3 dagen moeten geschieden, wil men de begin- en de einddatum van de te beschouwen periode niet te veel vervagen. Voor langere perioden (b.v. driemaandelijkse) mag deze middelbare afwijking groter zijn.

Op het lysimeterveld werd het aantal bemonsteringsveldjes uiteindelijk vastgesteld op 12 nl. 3 om ieder lysimetervak (zie fig. 7). Voor ieder lysimetervak blijft de standaardafwijking van het gemiddelde te groot. Alleen door het gemiddelde van alle

twaalf bemonsteringsveldjes te nemen, werden met inachtneming van de volumegewichten van de afzonderlijke lagen de standaardafwijkingen (= S [$\overline{G}$]) van de gemiddelde verschillen in vochtberging ($\overline{G}$) voldoende betrouwbaar. Deze schommelen voor de maandelijkse perioden sedert de toepassing van de dertigvoudige bemonstering op kleine veldjes tussen ongeveer 1,5 en 3,0 mm met een gemiddelde van ongeveer 2,0 mm (zie tabel 8). Deze nauwkeurigheid is voldoende. Hierbij bleef de bemonstering beperkt tot 80 cm, zoals reeds eerder is opgemerkt.

TABEL 8. Wijzigingen (in mm) in de gemiddelde vochtinhoud van de bodem (laag 0–80 cm – m.v.) van 12 veldjes op het drainage-lysimeterveld met bijbehorende standaardafwijkingen

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	$\overline{G}$	S [$\overline{G}$]
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	+ 7,9	1,6
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	— 21,0	2,2
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	+ 2,8	2,7
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	— 11,7	2,7
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	— 5,3	2,5
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	+ 6,5	2,1
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	— 10,4	2,3
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	— 1,2	2,5
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	+ 36,6	2,2
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	+ 8,7	1,7
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	+ 7,7	2,7
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	— 7,9	1,7
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	— 1,1	1,5
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	— 22,6	1,8
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	— 34,0	2,1
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	+ 15,3	1,8
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	+ 40,5	1,8
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	+ 10,3	1,8
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	+ 5,3	1,9
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	+ 6,3	2,0

TABLE 8. *Modifications (in mm) in the mean moisture content of the soil (layer 0–80 cm – m.v.) of 12 plots on the drainage-lysimeterfield with standard-deviation belonging thereto*

TABLEAU 8. *Modifications (en mm) dans le contenu en humidité du sol (couche 0–80 cm niveau du sol) de 12 champs sur le terrain de drainage-lysimètre avec les déviations-types correspondantes*

3. OVERZICHT DER MEETRESULTATEN

Aangezien eerst van 8 Maart 1951 af voldoend nauwkeurige bepalingen van het gemiddelde verschil in vochtinhoud bekend zijn, zijn van deze datum af in tabel 9 de diverse factoren van de waterbalans met hun standaardafwijkingen van het gemiddelde opgenomen.

De tevens in tabel 9 opgenomen standaardafwijkingen van de gevonden verdampingscijfers zijn — wat de grootte betreft — van dien aard, dat verondersteld

kan worden, dat een bevredigende benadering van de gemiddelde verdamping op de drainage-lysimetervakken gedurende de beschouwde balansperioden is verkregen.

In 1951 werden aardappelen en in 1952 werd wintertarwe (ingezaaid November 1951) op het drainage-lysimeterveld verbouwd.

TABEL 9. Waterbalans voor het drainage-lysimeterveld. (Alle hoeveelheden in mm).

Balansperioden *Periods of balance Périodes du bilan*		Neerslag *Precipitation Précipitation*		Inlating *Inlet Irrigation*		Lozing *Discharge Décharge*		Wijziging grondvocht *Modification ground moisture Modification humidité du sol*		Verdamping *Evaporation*		
Tijdvakken *Periods Périodes*	Aantal dagen *Number of days Nombre de jours*	R	S [$\bar{R}$]	I	S [$\bar{I}$]	L	S [$\bar{L}$]	G	S [$\bar{G}$]	V per tijdvak *per period par période*	S [$\bar{V}$]	V gem. per 24 u. *average per 24 hours moyenne 24 h*
8- 3-1951/ 5- 4-1951	28	116	3			70	2	+ 8	2	38	4	1,36
5- 4-1951/ 2- 5-1951	27	36	1			22	0	—21	2	35	2	1,30
2- 5-1951/ 1- 6-1951	30	84	1			26	0	+ 3	3	55	3	1,83
1- 6-1951/ 3- 7-1951	32	33	1			3	0	—12	3	42	3	1,31
3- 7-1951/ 2- 8-1951	30	58	2	0	0	0	0	— 5	2	63	3	2,10
2- 8-1951/ 4- 9-1951	33	80	4	13	1			+ 6	2	87	4	2,64
4- 9-1951/ 2-10-1951	28	29	0	9	1			—10	2	48	2	1,71
2-10-1951/31-10-1951	29	12	0	6	1			— 1	2	19	2	0,66
31-10-1951/ 4-12-1951	34	132	1			64	1	+37	2	31	2	0,91
4-12-1951/ 9- 1-1952	36	102	0			93	1	+ 9	2	0	2	0,00
9- 1-1952/ 6- 2-1952	28	75	2			70	1	+ 8	3	—3	4	—0,11
6- 2-1952/29- 2-1952	23	24	2			20	0	— 8	2	12	3	0,52
29- 2-1952/ 4- 4-1952	35	48	0			28	1	— 1	2	21	2	0,60
4- 4-1952/ 2- 5-1952	28	28	6			9	0	—23	2	42	6	1,50
2- 5-1952/ 5- 6-1952	34	33	1	35	3			—34	2	102	4	3,00
5- 6-1952/27- 6-1952	22	52	1	32	1			+15	2	69	2	3,14
27- 6-1952/ 1- 8-1952	35	134	2	30	1			+41	2	123	3	3,51
1- 8-1952/ 2- 9-1952	32	85	0			24	1	+10	2	51	2	1,59
2- 9-1952/ 1-10-1952	29	75	1			15	0	+ 5	2	55	2	1,90
1-10-1952/30-10-1952	29	67	0			25	0	+ 6	2	36	2	1,24

S = standaardafwijking van het gemiddelde
S = *standard deviation of the average*
S = *déviation-type de la moyenne*

TABLE 9. *Waterbalance for the drainage-lysimeterfield. (All quantities in mm).*
TABLEAU 9. *Bilan d'eau pour le terrain de drainage-lysimètre. (Toutes les quantités en mm).*

V. SAMENVATTING EN CONCLUSIE

1. Samenvatting

De in de Hoofdstukken II, III en IV vermelde waarden voor de verdamping van water uit de Rottegatspolder gedurende bepaalde perioden zijn samengevat in figuur 9, waarbij teneinde de onderlinge vergelijking mogelijk te maken de verdampingssommen herleid zijn tot de gemiddelde verdamping per etmaal gedurende de aangegeven perioden.

2. Conclusie

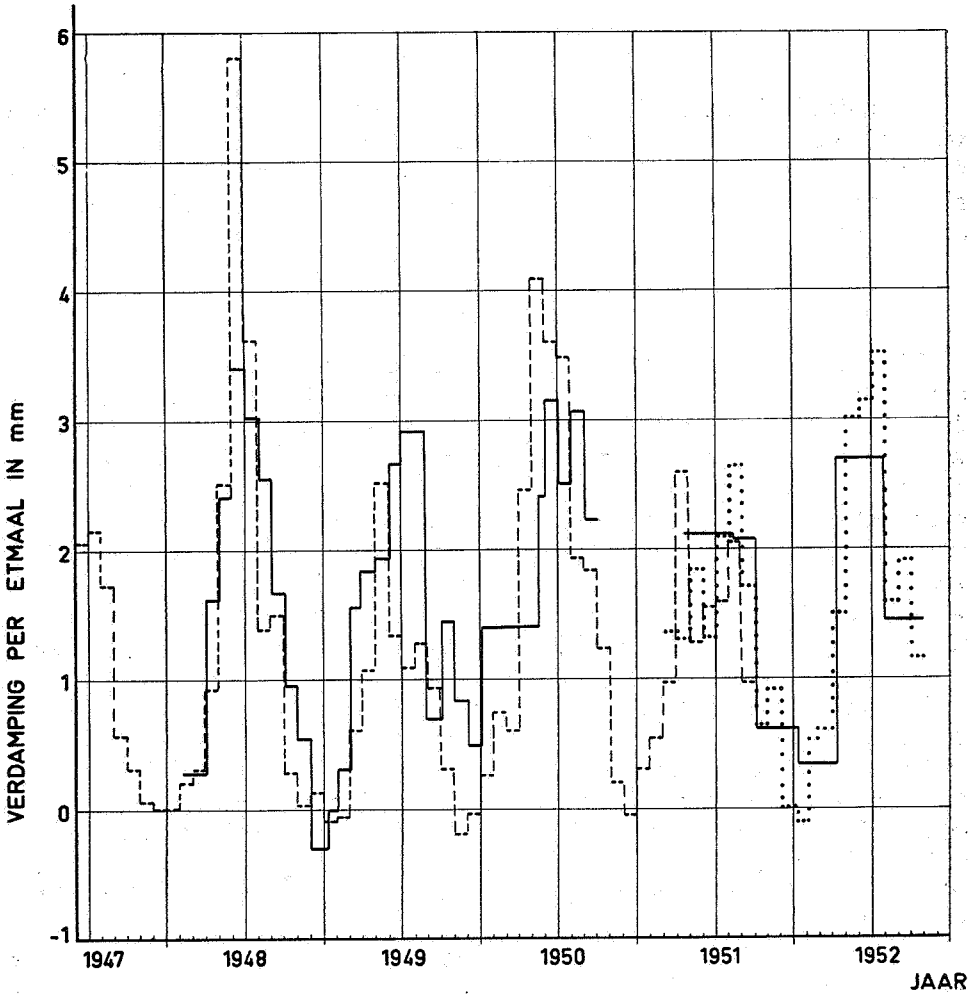
Ofschoon gedurende de gehele periode, welke in figuur 9 is opgenomen, voor geen der toegepaste methoden volledige gegevens ter beschikking zijn, blijkt helaas overduidelijk, dat zelfs voor zeer lange tijdvakken nauwelijks mag worden gesproken van een nauwkeurige overeenstemming tussen de verschillende reeksen van verdampingsgegevens. Voor perioden van omstreeks een maand treden zeer grote verschillen op, zodat er tot heden nog geen sprake is van de mogelijkheid ener toetsing der methode van het verticale waterdamptransport, aan de methode van de waterbalans voor de gehele polder. De Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek heeft moeten vaststellen, dat het tijdsbestek waarbinnen de verschillende methoden tot vergelijkbare uitkomsten zullen leiden, aanzienlijk langer zal moeten zijn, dan aanvankelijk werd aangenomen.

Nog steeds wordt gewerkt in een stadium waarin een verbetering in de toepassing der verschillende methoden door het scheppen van gunstigere voorwaarden, waaronder gewerkt kan worden, door het opvoeren van de nauwkeurigheid der waarnemingsresultaten en door het geven van noodzakelijk geachte uitbreiding aan de waarnemingen, wordt nagestreefd. De hierdoor optredende discontinuïteiten en onderbrekingen in bepaalde waarnemingsreeksen leiden telkens onvermijdelijk tot min of meer aanzienlijke verstoringen van een regelmatige gang van zaken bij het onderzoek.

In Hoofdstuk III werd reeds bij de bespreking van de bepaling van de grootte der wijziging per balansperiode van de hoeveelheden in de grond geborgen water opgemerkt, dat te dien aanzien resultaten met een aanvaardbare nauwkeurigheid slechts kunnen worden verkregen voor balansperioden voor de gehele polder van 3 maanden of langer. Tijdens het onderzoek werd bovendien de ervaring opgedaan, dat de stand van het gewas en de oogstdata een grote niet te elimineren invloed hebben op de verdampingscijfers.

In de polder worden nl. diverse gewassen verbouwd, welke op verschillende tijden worden geoogst en die verschillende groeisnelheden hebben, terwijl het perceel, waarboven de methode van het verticale waterdamptransport wordt toegepast, en het drainage-lysimeterveld beplant zijn elk met een afzonderlijk gewas, dat ook weer een eigen ontwikkelingsgang heeft. Het is hierom, dat de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek (waarin o.a. de samenstellers van dit artikel zitting hebben of

FIG. 9. Overzicht van de verkregen verdampingswaarden



— — — methode van het verticale waterdamptransport (zie Hoofdstuk II)
method of the vertical vapour transport (see Chapter II)
méthode du transport vertical de vapeur (voir Chapitre II)

——— methode van de waterbalans voor de gehele polder (zie Hoofdstuk III)
method of the water-balance for the entire polder (see ChapterIII)
méthode du bilan d'eau pour le polder entier (voir Chapitre III)

. . . . . waterbalans voor het drainage-lysimeterveld (zie Hoofdstuk IV)
water-balance for the drainage-lysimeterfield (see Chapter IV)
bilan d'eau pour le champ de drainage-lysimètre (voir Chapitre IV)

FIG. 9. *Survey of the evaporation values obtained*
FIG. 9. *Aperçu des valeurs d'évaporation obtenues*

zitting hebben gehad) zich momenteel bezig houdt met de voorbereiding ener verplaatsing van de psychrometerinstallatie van het K.N.M.I., welke ten behoeve van de toepassing van de methode van het verticale waterdamptransport wordt gebruikt, naar het drainage-lysimeterveld.

Op dit veld, beplant — zo mogelijk tezamen met de beide naastgelegen percelen — met één gewas zullen dan tegelijkertijd 2 onderzoekingsmethoden kunnen worden toegepast, zodat de verwachting gerechtvaardigd is, dat direct vergelijkbare reeksen verdampingscijfers verkregen zullen worden. Ten behoeve van de methode van het verticale waterdamptransport zal daarbij — met inachtneming van de in Hoofdstuk II beschreven ervaringen, welke aangaande deze methode tot heden werden verkregen — een verbeterd instrumentarium in gebruik worden genomen.

Het onderzoek heeft als bijkomstig voordeel nog opgeleverd, dat talrijke nauwkeurige gegevens van allerlei aard (neerslag, lozing, inlating, waterstanden, (grond)-temperaturen, enz.) ter beschikking zijn gekomen, welke ook voor andere dan verdampingsonderzoekingen van belang kunnen zijn en in verband hiermede desgewenst aan derden ter beschikking kunnen worden gesteld. In dit verband zij opgemerkt, dat het Secretariaat van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek gevestigd is te 's-Gravenhage, p.a. Rijkswaterstaat, Directie Algemene Dienst, Koningskade 25.

LITERATUUR

1. COMMISSIE voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. *Verslagen Technische Bijeenkomsten 1–6.* 's-Gravenhage, 1952.
   (Eerste technische bijeenkomst, 15 Februari 1946.)

2. STAM, A. H. (Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek). Een verdampingsonderzoek in den Rottegatspolder in de gemeente Ten Boer van de Provincie Groningen, *De Ingenieur*, nr 45 (1946).

3. WERKCOMMISSIE voor Verdampingsonderzoek, Verslagen van de —.

   Eerste verslag, 12 October 1942–1 October 1947
   Tweede verslag, 1 October 1947–5 October 1948
   Derde verslag, 5 October 1948–4 October 1949
   Vierde verslag, 4 October 1949–2 October 1950
   Vijfde verslag, 2 October 1950–4 October 1951
   Zesde verslag, 4 October 1951–4 November 1952.

   Bovengenoemde zes verslagen zijn o.a. opgenomen in de:

   Bibliotheek, Directie van de Waterstaat, Van Hogenhoucklaan 60 te 's-Gravenhage;
   Bibliotheek van het Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, Bezuidenhoutseweg 30, 's-Gravenhage.

4. U. NOETZLIN. Beiträge zur Frage der Windmessung am Boden unter besonderer Berücksichtigung der Böenmessung. *Wiss. Abh. Reichsamt für Wetterdienst*, Band VIII, nr 5, 1941

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

REPORTS AND INFORMATIONS No 2

SUMMARIES

OF THE PAPERS, PRESENTED IN THE

TECHNICAL MEETINGS
7—10

AND OF THE REPORT CONCERNING THE

EVAPORATION RESEARCH IN THE ROTTEGATSPOLDER
1947—1952

CONTENTS

PREFACE 259

Seventh Technical Meeting, November 23th, 1950

I. THE STUDY OF PRECIPITATION DATA 260

1. A general review of the precipitation, by L. J. L. DEIJ 260
2. Application of the so-called "Theory of Extreme Values" in the computation of the frequency of very large amounts of precipitation in rains, by C. LEVERT 260
3. Dry spells, by G. A. LENSTRA 260
4. Application of frequency distributions, by B. VISSER 260
5. Graphical operation of rain frequency distributions, by W. C. VISSER 262

Eighth Technical Meeting, December 13th, 1951

II. MODEL RESEARCH ON GROUNDWATER FLOWS 264

1. Introduction, by W. R. VAN WIJK 264
2. Methods of research on groundwater flow in agriculture, by S. B. HOOGHOUDT (†) 264
3. Research on groundwater flow by means of two- and three-dimensional ground models, by J. TH. THIJSSE 265
4. The significance of model research in the study of groundwater flow for soil mechanics, by E. C. W. A. GEUZE 265
5. Parallel plates models, by G. SANTING 265
6. Design of a heat-exchange model for groundwater flow, by H. KUIPERS 266
7. Electric model research on groundwater flows, by C. G. J. VREEDENBURGH 266

Ninth Technical Meeting. December 12th, 1952

III. MEASUREMENTS AND IMPROVEMENT WORKS IN BASINS OF BROOKS 267

1. Introduction, by F. VOLKER 267
2. Gauging of water levels and outflows in small water courses, by P. J. WEMELSFELDER 268
3. The discharge of the small rivers in the Netherlands, by J. H. M. LATOUR 269
4. The value of the determination of the discharge of rivulets for land-improvement projects, by W. C. VISSER 269

Tenth Technical Meeting, January 20th, 1954

IV. GEO-ELECTRICAL RESEARCH 271

1. Principles and possibilities of the geo-electrical resistivity method, by B. BAARS 271
2. Recent results of hydro-geoelectrical research in Germany, by F. HALLENBACH 272
3. The geo-electrical resistivity methods as a means to determine the chlorine contents of the groundwater in the plistocene sand-layers in the Yssellake areas, by E. O. HOUTSMA 272
4. Possibilities for the application of the geo-electrical method in the Netherlands, by J. H. BELTMAN 273

Report of the Working Group for Evaporation Research

V. EVAPORATION RESEARCH IN THE ROTTEGATSPOLDER (1947–1952), by L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR, P. K. PEERLKAMP and A. H. STAM 275

PREFACE

In the three years gone by since the first publication of the Committee for Hydrological Research T.N.O. came out, the urgency of an integral regulation of the country's water resources became even more evident than in the preceding period. The ever-growing population, the rising demand for water for industry and agriculture, the increasing pollution of surface and ground water by sewage disposal and by sea water intrusion in coastal areas, ask for an economic management of our water resources.

This aim can only be attained by close co-operation of all organizations concerned with research on water in all stages of the hydrological cycle.

In different other countries such a situation obtains and a need for co-operation is felt. This became again evident at the tenth General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, held in Rome in 1954. The co-operation established in the Netherlands through the Committee for Hydrological Research T.N.O. answers the desirability expressed at this meeting.

The present publication gives an account of the papers presented at the Technical Meetings of the Committee during the period 1950–1954. Several times these meetings led to the setting-up of working parties or research groups for the study of special subjects. Thus working parties have been formed for lysimeter research, for the study of the best methods of elaborating rainfall data, for geophysical investigation methods, etc.

The present publication further comprises a report of the Working Group for Evaporation Research on the results of its investigations in the Rottegatspolder.

Tribute is paid to the memory of the late Dr. S. B. HOOGHOUDT, one of the prominent agricultural hydrologists in the country, who passed away in 1953.

The Hague, November 1955

Prof. W. F. J. M. KRUL

Chairman

Seventh Technical Meeting, November 23th, 1951

I. THE STUDY OF PRECIPITATION DATA

1. A GENERAL REVIEW OF THE PRECIPITATION

by L. J. L. DEIJ

A general survey is given of the significance of precipitation for theorists and practicists as well as of the methods used in answering their questions.

A short review is given of the physics of the formation of clouds and precipitation; an impression is given of the problem of artificial rain.

Further the general meteorological circumstances are considered under which precipitation takes place.

Finally a climatological survey of rainfall in the Netherlands is given.

2. APPLICATION OF THE SO-CALLED "THEORY OF EXTREME VALUES" IN THE COMPUTATION OF THE FREQUENCY OF VERY LARGE AMOUNTS OF PRECIPITATION IN RAINS

by C. LEVERT

First of all an abstract, purely mathematical description of the so-called Theory of Extreme Values (developed by GUMBEL) is given. The purpose of this Theory is to compute the principal characteristics (mean, modus, median, standard deviation) of the frequency distribution of the largest value taken out of a sample of a given number (N) of elements that have been chosen at random out of a statistical universe. Especially when N is very large the relations between these characteristics are very simple.

In the first place this Theory was applied to I) the annual largest monthly quantity of precipitation (De Bilt, 1849–1946) and II) to the largest daily rainfall per year (De Bilt, 1901–1940). In the second place the annual largest rainfall was considered in a rain of which the total duration is t minutes with $t = 1–5, 6–10, 11–15, \ldots\ldots 56–60$ respectively. By means of the T.o.E.V. computations were made of the mean and the most probable value of the annual largest rainfall in a rain ($\bar{h}$ and $\tilde{h}$) and the mean return periods of very large values of the annual largest rainfalls in rains. A point of discussion was also the problem of extrapolation, which has always drawn attention. The fact was stressed that many authors do not mention the reliabilities of their results, which hampers the comparison of the values of their investigations.

3. DRY SPELLS

by G. A. LENSTRA

On the basis of some definitions of dry spells formulated in England, an investigation is made into the number of dry spells in the Netherlands in the years 1867 up to

and including 1950. It appears that in the coastal area the number of dry spells is greater than elsewhere in this country, while there is also a different distribution of dry spells over the year.

In addition to the quantity of precipitation other factors, including evaporation, groundwater level, water supply, play a part in dry spells.

A beginning has been made with a study for announcing dry spells, say five days beforehand. This has been done by means of weather maps, which were used to investigate the variations in the general circulation of the atmosphere. It appeared that in the Netherlands dry spells are attended with an area of high pressure near this country. A number of distributions of air pressure conducive to dry spells have been mentioned.

4. APPLICATION OF FREQUENCY DISTRIBUTIONS

by B. VISSER

Many observations are made about the rainfall, the outflow of rivers, high tides of the sea, etc., which aim at finding the right dimensions for the construction of dikes, dams, etc. To get a clear view of the result of the observations frequency diagrams or curves are made.

The characteristic properties are some times given by means of the statistical terms as mean, deviation, skewness, etc. By means of for instance 3 to 5 constants the properties of a distribution are fixed.

In various ways formulae may be deduced from observational data for theoretical frequency distributions. Such formulae give, with the aid of for instance 3 to 5 constants, the frequency for the range of the observed quantity. They smooth the irregularities, which are the consequence of the limitedness of the number of the observations. Moreover it is tried to get a better insight into the frequencies of the the extreme values.

The aim is to get a general insight into the usefulness of such methods, also for the knowledge of the frequencies of the extreme values.

From the known methods two representative methods are dealt with: PEARSON'S method and GOODRICH'S method.

PEARSON'S method is arithmetical, GOODRICH'S method is graphical. The great value of the latter is shown.

PEARSON starts with the differential equation for the frequency curve. From this he derives the possible equations for the frequency curve. In these formulae 5 constants occur, which can be computed from the total frequency, the mean, and the 2nd, 3rd and 4th moment. The formulae for the various types of frequency distributions which are of importance may be found in this way.

GOODRICH starts with the formula for the summation curve; he says himself that he developed this method in a purely empirical way. By differentiation he comes to the frequency curve. This formula again contains 5 constants. GOODRICH found the value of these constants by a graphical method, which requires rather simple and little work. Again the various types of frequency distributions, which are of importance, can be dealth with.

In the paper it is shown that a frequency distribution can be indicated by means of the formulae of PEARSON and GOODRICH as well as by means of such usual statistical terms as mean, deviation, skewness, etc.

Moreover it is shown that great prudence is necessary in the range of the extreme values.

5. GRAPHICAL OPERATION OF RAIN FREQUENCY DISTRIBUTIONS

by W. C. VISSER

Data on rain frequency distributions are most valuable for practice if they give the relation between the quantity of rain and the probability of excess, differentiated according to the time of year and the length of period. Further, the length of time within which this period may fall, may be added.

It appears that a workable nomogram for the relation as mentioned above may be drawn up when it is based on frequency curves, constructed on logarithmic probability paper. These frequency curves may be made to coincide through a simple removing transformation. The resultant nomogram is shown in figures 5 and 6. A reading is made by seeking on the removing figure in figure 5, which consists of a carrier and a number of removing ellipses, the point for the given time of year and the length of period. Then the centre of the circle of the sheet showing the coordinates of figure 6 is laid on this point in figure 5. The frequency distribution curve in figure 5 – this is the curved line rising to the right – will now give the relation between the quantity of rain and the probability of excess, expressed in the units of the coordinate axes of figure 6, applied in the proper place as described above.

An attempt was made to give an explanation of the possibility of making the frequency curves coincide by translating. For this purpose work hypotheses were drawn up regarding the physical, climatological and statistical laws that here apply. This was more successful for longer than for shorter periods. This may be partly accounted for by the somewhat smaller degree of accuracy of the frequency curves in shorter periods.

The frequency distribution appears to be an exponentially skew one. In physics these exponential laws are often used in the description of such energy transmission as radiation and evaporation. Also in condensation, caused by rain, the action of such a law may be readily supposed. This law then accounts for the skewness.

The influence of the time of year is accounted for by the movement of the zero point of figure 6 according to a moving ellipse. This elliptical form results from the cyclical variation in rainfall. It appears that the horizontal and vertical of the zero-point of the coordinates pass off according to sinus lines with 3 months' interspaces. This is the same relation as that of a sinus line to its integral. It may be asked whether the horizontal removing – which has the significance of the multiplication factor for the quantity of rain – might be related to the temperature. The vertical removing – which determined the level of a threshold value above which rainfall becomes possible – might, in addition, be related to the radiation received by the earth. The

explanation of this part of the removing figure will have to be based on climatological laws.

The carrier of the removing ellipses derives its form from the statistical laws for the average and the spreading of a sum total with an exponentially skew frequency distribution. The form which was found for the carrier may be easily explained on the basis of statistical laws. For very short periods this explanation involves physical difficulties that cannot yet be estimated. For a clear insight into the physical laws accounting for rainfall, recordings per hour and per minute may be desirable.

It appears that the graphical elaboration followed, might lead to a workable nomogram, because it quite corresponds to the laws described in the work hypotheses, which laws govern the rain frequency phenomenon. These laws were also used as far as possible to obtain the simplest nomogram. There are indications that for short periods there are complications which cannot be attributed to deviations resulting from the rather too small degree of accuracy of this research. The correlations existing between the rainfall figures of successive days testify to this. The graphical method employed is flexible enough to account for these complications. It may be desirable to investigate with more accurate material whether these complications affect the result in such a way that they should be taken into account in practice. If this is not the case the nomogram may be even be further simplified.

1. INTRODUCTION

by W. R. VAN WIJK

Model experiments are used to study flow of groundwater when calculation would take too much time. With many models water and soil (sand) are employed, but electric currents or heat flow may also be used because the same differential equation applies for these as for the motion of water in the soil. Models are especially used to study non-stationary flow.

2. METHODS OF RESEARCH ON GROUNDWATER FLOW IN AGRICULTURE

by S. B. HOOGHOUDT (†)

The problems relating to groundwater flow with which the Agricultural Experiment Station and Institute for Soil Research T.N.O. at Groningen has been concerned and probably will be concerned in future, the three-dimensional flows may nearly alle be reduced to two-dimensional and even stationary flows. As these problems may be solved in various ways, both for homogeneous and heterogeneous soils, by means of calculations which can be carried out more quickly and accurately than model experiments, the latter form of research has been discontinued at the institute.

With calculations as well as model experiments the boundary conditions and the physical soil constants should be known and the accuracy of the result obtained by a method of solution depends on the accuracy with which these data can be determined.

The boundary conditions for problems on ground water flow in agriculture are rather uncertain and the physical constants are sometimes hard or not at all to determine and, if determinable at all, often incorrect. Therefore, the accuracy of mathematical solutions obtained by simplified and (or) quicker methods is often more than sufficient.

In spite of the instructiveness of model research it is preferred to devote the available energy and means to some detached problems, including:

1. supplementation and improvement of the determination of permeability,
2. the soil profile and its permeability, if possible, of the whole of the Netherlands.

A further task of the institute is to reduce exact solutions to simple formulae by means of tables, diagrams, etc. This reduction should be accurate and simple so that it may be carried out by many persons interested.

3. RESEARCH ON GROUNDWATER FLOW BY MEANS OF TWO- AND THREE-DIMENSIONAL GROUND MODELS

by J. TH. THIJSSE

The paper deals with models filled with granular material. These models can also be made to represent aquifers consisting of various layers of different permeability and containing liquids of different density.

4. THE SIGNIFICANCE OF MODEL RESEARCH IN THE STUDY OF GROUNDWATER FLOW FOR SOIL MECHANICS

by E. C. W. A. GEUZE

The mathematical treatment of the problem of stationary flow of water through a dike becomes impossible, if the capillary zone comes in. In such cases model investigations on a soil material with a capillary height reduced to the same scale as the model itself may yield approximative results.

The mathematical treatment of the non-stationary flow as occurring at the loading of a saturated clay layer succeeds in one-dimensional cases if the compressibility properties are simplified.

Model research may give results accounting for deviations from these ideal properties.

Deviations from the behaviour of the object itself may be checked by field investigations.

5. PARALLEL PLATES MODELS

by G. SANTING

The fundamental differential equation for two-dimensional groundwater flow is the same as that for the laminar flow of a viscous liquid through a narrow interspace between two parallel plates.

This enables us to imitate groundwater flow phenomena with the aid of a model, consisting of two parallel plates, mounted together with an interspace of capillary dimensions through which a viscous liquid is allowed to flow laminarly.

In a vertical position the model represents a vertical section of an aquifer, the interspace between the plates representing the porous ground, the liquid representing the groundwater and the surface of the liquid representing the phreatic surface.

In a horizontal position the model represents an aquifer of a certain horizontal extension.

Layers of different permeability are imitated by different widths of the interspace between the plates. The effects of rainfall, evaporation, withdrawal of groundwater by wells, drainage, irrigation, artificial recharge of the groundwater, salt water intrusion, etc. can be studied with the aid of these models.

6. DESIGN OF A HEAT-EXCHANGE MODEL FOR GROUNDWATER FLOW

by H. KUIPERS

Efforts are made to develop a model for the imitation of two-dimensional, non-steady flow of groundwater. This model is based on the conformity between the laws for the propagation of heat and the flow of groundwater. Design, construction and first results are discussed and illustrated by an example.

7. ELECTRIC MODEL RESEARCH ON GROUNDWATER FLOWS

by C. G. J. VREEDENBURGH

This method yields very accurate results.

It is particularly suited for research on complicated steady-state flows including those with a free water surface flowing through adjoining areas with different anisotropy in permeability.

III. MEASUREMENTS AND IMPROVEMENT WORKS IN BASINS OF BROOKS

1. INTRODUCTION

by F. VOLKER

The appointment in 1893 of the Government Committee for Irrigation Research (Staatscommissie voor de Bevloeiingen) initiated a period of research covering the entire field of water management in the Netherlands. This research mainly deals with the basins of the principal brooks. After 3½ years a report was handed in and after that the investigations have not been continued.

This research work was resumed in 1942 with the institution of the Council for Water Management (Raad voor de Waterhuishouding), the Water Management Service of "Waterstaat" (Dienst voor de Waterhuishouding van de Rijkswaterstaat) and the Water Management Section of the General Service of the Ministry of „Waterstaat" (afdeling Waterhuishouding van de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat).

In the meantime the conditions in the various basins had changed completely and the technic of collecting data had been improved, while further the need for the improvement of basins had become more urgent. Moreover the objects were more extensive. In 1893 the research work referred to above included only the improvement of such soils in the basin as could be improved by irrigation, whereas it is now tried to gain an insight into the possibility of improving all the soils of the basin through better control of the outflow and of the groundwater level.

The research preceding the improvement of the basin of a brook comprises the investigation of the demeanour of the highest and lowest water levels and the largest and smallest run-offs as well as the whole course of water levels and run-offs in dry periods and in periods with much rainfall and, further, the preparation of water level graphs and discharge-curves, from which to calculate the discharge-coefficient (i.e. the greatest discharge in terms of litres per second per ha). Discharge-coefficients have to be determined for abnormally high, normal and abnormally low outflows.

Also the relation between precipitation and evaporation on the one hand and water storage on the other has to be determined (evaporation, underground outflow and water storage especially being difficult to measure). The underground efflux and influx, the water storage in the soil depend on the composition and permeability of both the upper and lower soil layers.

Further, relief maps have to be made because the slope of the terrains affects both volume and direction of the outflow. Besides more detailed maps are needed (scale 1 : 2,500 and 1 : 1,000) for designing the improvements to be made.

Finally, the average ground water levels and their fluctuations should be known.

Before making any changes in the course of brooks, of their cross-section and the altitude of terrains along brooks, an investigation should be made of the effects of such changes on water levels and outflow.

As long as the knowledge about the phenomena resulting from such modifications is still insufficient, it is desirable to make gradual changes and, while carrying them out, check the effects obtained as far as possible with those calculated.

2. GAUGING OF WATER LEVELS AND OUTFLOWS IN SMALL WATER COURSES

by P. J. WEMELSFELDER

A survey is given of the present apparatus for gauging water levels and outflows.

A standardized type of fixed gauge is described consisting of a limited number of types of plates capable of covering any gauging range.

A diagram shows the principles by which water levels can be gauged also from a distance. Self-recording gauges are made by 27 European factories in from 100 to 150 models.

The Ministry of "Waterstaat" applies also remote transfer with Selsyn units, for which the normal recording apparatus is used.

Advantages and disadvantages are discussed of a combined self-recording water level – rain gauge and an apparatus that, when placed on an adjustable weir, records the water level above and below the weir, position of the slide, difference between the water levels, flow per time unit.

Mention is made of the means for gauging ground water levels in narrow tubes.

A detailed diagram deals with the principles by which the velocity of currents can be measured. For Dutch brooks are only suited floats, the winged mill, the Price-mill and the pendulum current gauge. The last-named is the most suitable. Its works as follows:

A resistance body (called kite), suspended in the current by means of a wire, meets two forces, namely gravity and the pressure of the water. The tangent of the angle of gradient of the suspension wire is a direct measure for the velocity of the water at a given place. The tangent is read from a gauge.

The pendulum is operated by hand when there is a bridge, landing stage or suchlike construction available. If there is no bridge and the water course is not wider than 25 m, the pendulum is connected with a suspension apparatus, which has been fastened to a wire that runs from bank to bank. The apparatus can be operated from the bank.

For gauging the currents of wider water courses the pendulum can be suspended from a dome-shaped gauge, mounted on a boat.

The measurements with the pendulum currentmeter are checked with floats and mills. These control measurements as well as advantages and disadvantages of the pendulum current gauge are discussed in detail. Among the advantages should be mentioned the quick and accurate gauging of velocities and of the profile.

3. THE DISCHARGE OF THE SMALL RIVERS IN THE NETHERLANDS

by J. H. M. LATOUR

Since 1942 the General Service of the Ministry of "Waterstaat"(Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat) has been studying the water management in the basins of the small rivers and brooks in the Netherlands. The war, however, was a retarding factor so that the actual development of this work dates from 1946.

After due exploration measuring plans have been made for all eligible areas. A large number of gauges has been placed. These are read once daily and some even twice daily, while some gauges give a continuous recording of water level fluctuations.

In 1952 the preparatory stage of the research was not yet closed. More self-recording gauges have been placed and a number of self-recording pluviometers have been included.

At several points in the basins the current velocity of small rivers and brooks was measured in order to calculate the rate of flow. A start has been made with the construction of discharge curves.

The data collected have already occasionally been turned to useful account. For general researches long-term records, at least over ten years, are indispensable. This term has not yet been completed for any basin. For the time being work will be mainly confined to ensuring the continuity and increasing the reliability of recording.

The increased attention paid by the Royal Netherlands Meteorologic Institute (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) at De Bilt to the elaboration of the data of precipitation is of great value for the current research on water management in this country.

4. THE VALUE OF THE DETERMINATION OF THE DISCHARGE OF RIVULETS FOR LAND IMPROVEMENT PROJECTS

by W. C. VISSER

The aim of projects for better use of land and water for agricultural purposes is, to maintain the water in the soil at the optimum level. Fig. 1 shows the reaction of the crop yield on this soil water level. At deep levels desiccation threatens in years of low rainfall. The required depth of the water level depends on the water retaining capacity of the profile or the amount of humus or clay, as shown for different clay contents in fig. 2.

The water level shall not only temporary be held at the optimum depth, but has to be maintained there continuously between narrow limits. In fig. 4 is shown to what extent fluctuation of the soil water level influences the crop yield. The smaller the fluctuation, the higher the yield.

It would not be enough to take only the improvement of the crop yield into account as a basis for the feasibility of land-improvement projects. The yield increase through better management of the water level may mainly be excepted in dry years. The yield decrease at low water tables may in rainy years be small or even not existing.

The choice of crops in the culture plan is a more important point of consideration. The culture plan is made up for the mean climatic situation. With good moisture conditions – in fig. 5 characterised by a more shallow water level – the farmer chooses a more intensive crop rotation, with less rye and more beets.

The discharge determinations make it possible to draft plans for bringing water to the places where it is needed and to determine, what area may be helped with this water and in which way. In this respect it will be necessary to know the frequency distribution of the discharge over a variable number of days as depicted in fig. 6. Besides this frequency diagram it is also needed for agricultural development plans to know the retention value for water for an area. A too quick discharge is up from a certain value disadvantageous for agricultural production. Water should not flow away if it is badly needed afterwards to compete drought. This rapid run-off is also undesirable, because it leads to flooding of the valley land. This lowers the grass-production materially as fig. 7 shows for an inundated and a not inundated area by plotting the yield of the grass against the groundwater level in the following summer. To study the retention, selfrecording discharge gauges are of great interest.

As well with regard to the costs of the execution of plans as to the productivity of the land it is for agricultural purposes necessary to develop the projects on the basis of water conservation, even in areas of high winter discharge. There is a tendency to use too high discharge constants. This leads to plans in which the profits of good drainage in winter are counterbalanced by the losses through drought in summer. Therefore discharge measurements must be part of an integrated co-operation in which the knowledge about the waterbalance of the area, the conception of the agricultural needs and the technical skill to draft a plan in which these needs are realised, must be brought together. The design of these plans and the operation of the project by the population will become much easier if the water conservation schemes could make use of a well designed weir which can maintain a constant difference between the upper and the lower water level. In fig. 9 the principles of such a weir are sketched.

The whole field of water management has come into motion in recent years. In agricultural circles much is expected from this activity. It must be appreciated that the measurement of discharge of rivulets is well on its way. It will produce valuable data for the improvement of land and water use.

1. PRINCIPLES AND POSSIBILITIES OF THE GEO-ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

by B. BAARS

The aim of the geo-electrical method is to obtain data on the earthlayers by measurements at the surface of the earth. These data can be obtained through the wide variety in electric resistance or conductivity of the earth layers. The conductivity is mainly determined by the moisture content of the sediments (porosity, conductivity by ions).

The electric methods are many and varied. Only the resistivity method will be described, which is mostly applied.

The potential in a homogeneous semi-infinite space, bounded by a horizontal plane in which a current electrode is placed, will diminish at the rate of $\frac{1}{r}$. The equipotential surfaces are semi-globes and the equipotential lines on the plane are circles with the current electrode as centre. Inhomogeneities (changes in conductivity) in a lateral direction will reshape the equipotential lines, which will nomore be circles. Mapping of the equipotential lines will tell something about the inhomogeneity. This method however is not much used as it takes much time and the resistivity method gives more information about the subsoil.

In the above mentioned case of one current electrode, the second electrode is supposed to be at infinity. If the second electrode is placed at a finite distance, the distribution of the potential can be obtained by adding the separate potentials of both electrodes. Potential electrodes are then used to measure the potential drop. The spacing of the electrodes can vary widely. Only the WENNER configuration will be discussed. In this case the potential electrodes are placed in a straight line between the current electrodes, the distances between the electrodes being equal.

The potential measured in the case of homogeneity is $V = \frac{\varrho I}{2 \pi \alpha}$, from which formula the specific resistivity can be computed. For the non-homogeneous case, the same formula is used, only in this case ϱ is not the real specific resistivity but the apparent specific resistivity $\varrho \alpha$.

The use of the formula $\varrho\alpha = 2 \pi\alpha \frac{V}{I}$, is demonstrated for the case of two layers.

Owing to the inaccuracies of the measurements and the inhomogeneity of the layers, specially the surface layers, the maximum depth to which the method can be applied will not be more than 400 m. As only resistivities are measured the results should be related to known geological data as well as to data obtained from boreholes.

2. RECENT RESULTS OF HYDRO-GEO-ELECTRICAL RESEARCH IN GERMANY

by F. HALLENBACH

The geo-electrical method is used more and more in solving special hydrogeological problems. Since 1945 electrical resistivity measurements have been carried out in connection with about 300 hydrogeological investigations in the West-German territory, mostly by the Geophysical Department of the "Amt für Bodenforschung" at Hannover, at the request and in close co-operation with the Geological Surveys of the districts concerned.

In the northwest German territory the geo-electrical method has been used in the first place to locate the areas with brackish groundwater, specially along the coast, partly also in the inland in the neighbourhood of large saltdomes. To indicate a highgrade silting of the groundwater is always easy. Provided the waterbearing formation consists of sand and gravel only, a determination of chlorine contents in the order of magnitude of 1000 to 2000 mg/l can be made with a relative high accuracy.

Aquifers with a smaller chlorine content partly show resistivities which are also shown by clay and marl. Often the geophysicist is asked to locate a suitable aquifer and to give detailed information whether the formation is more or less clayey. In connection with this kind of research the problem special arises in Northwest Germany to locate hydrologic important clay deposits (Lauenburger Ton). In South Germany the geophysicist often has to deal with the determination of the thickness of gravel deposits in the old river valleys, covered with younger formations and to determine the relief of the base of the aquifer.

Faults and zones of cleavage can only be determined electrically in special cases.

The depth of the groundwater level can seldom be found from the measurements.

Between certain limits the measurements can be interpreted in more than one way. To limit the possibilities as much measurements as possible should be made and the geophysicist should be provided with all the geological and hydrological data available The close co-operation between geophysicist, geologist and hydrologist goes without saying.

3. THE GEO-ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD AS A MEANS TO DETERMINE THE CHLORINE CONTENTS OF THE GROUNDWATER IN THE PLISTOCENE SAND-LAYERS IN THE YSSELLAKE AREAS

by E. O. HOUTSMA

By studying the problem of seepage of more or less brackish groundwater into the deep polders planned in the Yssellake (former Zuiderzee) and the possibility of finding a supply of potable water for the new polder "Oostelijk Flevoland" near the Veluwe coast, it was necessary to investigate to a large extent the distribution of

salinity in the permeable sand-layers of a thickness of about 250 meters, forming the deeper subsoil of the Yssellake.

It would be very expensive and take much time to get the desired information by means of an extensive survey by borings.

Therefore a geo-physical method was chosen.

The sand deposits in question, overlain by thin layers of clay and peat, are quite homogeneous according to their geological history, whereas the variations of the chlorine content in lateral and vertical direction are small in comparison with the thickness. These conditions justified the application of the geo-electrical resistivity method, making use of the well-known Wenner electrodes configuration using direct current.

A general survey of the applied method is given.

The measurements have been carried out partly in the polders or on the dikes and partly in various points on the bottom of the Yssellake.

For this latter operation a special cable has been constructed, consisting of 14 separate, insulated cables, each ending in an electrode. These electrodes were spaced along the cable, so that nine Wenner spacings could be selected. The electrode spacings varied from 44 meters up to 396 meters.

It was found by other geo-physicists that the specific electrical resistivities of the system pore water and soil particles (ϱ), for fully saturated deposits, was proportional to the specific electrical resistivity of the pore water (ϱl). According to this relation the specific resistivity, determined from geo-electrical measurements in the neighbourhood of borings, executed to a depth of 350 m, has been compared with the specific resistivity of water samples taken at various depths in the bore hole by means of filters.

The following relation was found: $\varrho/\varrho l = 4{,}5$. This relation does not depend on the salinity. Moreover the chlorine contents of the same water samples were determined.

In this way it was possible to obtain a relation between the specific electrical resistivity as determined from the interpreted geo-electrical apparent resistivity curves and the chlorine content of the water in the strata.

4. POSSIBILITIES FOR THE APPLICATION OF THE GEO-ELECTRICAL METHOD IN THE NETHERLANDS

by J. H. BELTMAN

The following problems to which the geo-electrical method might contribute to a solution, are discussed.

1. *The occurrence of thick clay deposits in the North of the country*

From boreholes in Friesland and Groningen very thick claylayers are known. The origin of these claylayers is not yet known. The eventual connections between the different deposits and their extensions may contribute to explain their

origin. A research by drilling only would be extremely expensive. It is expected to obtain further data by applying the geo-electrical method. The measurements should be related with data from boreholes.

Stocktaking of the clay deposits is of economic value.

2. *Plio-pleistocene loam- and claylayers in Western Noord-Brabant*

The loam- and claylayers in the neighbourhood of Bergen op Zoom are intercalated in a very irrigular way in the sands. Up to now no system could be found in their distribution.

The geo-electrical method may contribute to a solution of this problem, which is also of economic value for the brick industry.

3. *Faults in Limburg and Noord-Brabant*

In general faults found by gravity surveys (1940–1946) and recent seismic surveys in the Peel district at the surface of the Carboniferous correspond with the lines of outcrop indicated in shallow boreholes by means of petrological research (ZONNEVELD 1947). Due to various reasons local deviations exist. It is expected that the location of the lines of outcrop can be determined in more detail by the geo-electrical method.

4. *Stratigraphical problems, also of hydrological interest*

As examples the occurence of valley-shaped depressions in the Tertiary, filled up with quaternary material, near Winterswijk and Eibergen, are discussed. The general shape of these depressions is known from boreholes, drilled for water supply. A more detailed knowledge might be valuable not only in geological respect but also in that of water supply planning.

5. *Thickness and permeability of aquifers*

The thickness and permeability of aquifers e.g. the "Hoogterras", may vary widely over small distances. In locating boreholes for water supply a detailed knowledge of the nature of the aquifer is necessary. In many cases this knowledge may be obtained by applying the geo-electrical method.

6. *The boundary between fresh and brackish or salt water*

As the geo-electrical method has been used succesfully by the Zuiderzeewerken to solve the problem of the distribution of fresh and brackish water in the subsoil of the Yssellake, it is expected that this method will be as useful in solving similar problems on the mainland (Friesland, Groningen, Zeeland, dunes).

V. EVAPORATION RESEARCH IN THE ROTTEGATSPOLDER (1947—1952)

by L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR,
P. K. PEERLKAMP, A. H. STAM

During the first technical meeting of the Committee for Hydrological Research T.N.O. (T.N.O. = the Central Council for Applied Scientific Research in the Netherlands) on 15 February 1946, detailed informations were given about the intended research (s. *Verslagen Technische Bijeenkomsten nr* 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. 's-Gravenhage, 1952; p. 11—30, with summaries in English and French resp. on p. p. 279—283 and 307—311). The technical provisions which had to be taken in behalf of the research have been for the greater part executed in 1946 and were finished in 1947, after which the study started.

Originally the apparatuses necessary for the determination of the evaporation according to the method of the vertical vapour transport were of a simple character, so that at first only three daily temperature and wind velocity observations were available. At the same time the theoretical base of this method was further entered into. In 1948 an improved and continuous-recording set of instruments was taken into use. It proved necessary to raise as much as possible an extreme sensibility of the instruments and the accuracy of the recording of the various data. More than once the apparatuses had to be reviewed and re-gauged.

Owing to this the evaporation-figures obtained are not in every respect satisfactory, but for the moment they give an acceptable approximation of the extent of evaporation from cultured fields.

The continuation of this research method is justified and desirable. Mindful of the experiences obtained measures have been taken f.i. for the fabrication and use of a totally renewed, extremely sensitive and very accurately recording psychrometer-anemometer installation.

For the calculation of the evaporation from the waterbalance of the polder terms of about 1 month were supposed to be sufficient. However it proved to be impossible to determine in a sufficiently accurate manner, changes in the water-storage of the soil during such a short period. The dispersion in the data collected for this purpose was always of such a character, that the accuracy with which the evaporation — being the closing item in the waterbalance — could be calculated, was unacceptable. Owing to this periods of about 3 months are taken for the polder since the spring of 1951. It also appeared necessary in the course of the investigation, to change the place of the fixed pluviometers, systematic differences being stated in the results of the observation.

For the 4 drainage-lysimetersections it proved possible to maintain periods of one month for the waterbalance, because the changes per period in the watercontents of the soil can here be determined more accurately, the object being of a limited extent (625 m^2 per section = 0,141 acres), than for the entire polder (86,6 ha = 196 acres).

Originally the 4 sections were only provided with a separate drainage. The horizontal permeability of the soil however proved to be so great that — dependent on the hydrological circumstances — water from the adjoining ground flowed towards the section or from the section to the adjoining terrain. By applying wooden bulkheads a practically complete separation was established between the sections and the adjoining terrain.

On the parcel with the 4 sections was always cultivated one crop. The accuracy with which the evaporation from the 4 sections can be determined is still insufficient to proceed to the cultivation of a different crop on each plot in order to determine eventual differences between the evaporation of the various crops, as was originally intended. Such a measure will increase in importance when the accuracy with which the evaporation with the aid of the method of the vertical vapour transport can be determined, rises.

The harmony between the evaporation data obtained by different procedures proved to be up till now insufficient to realise a complete test of the method of the vertical vapour transport. There exists a justified confidence however, that continuation of the investigations will lead to good results.

SECTION T.N.O. DES RECHERCHES HYDROLOGIQUES

RAPPORTS ET COMMUNICATIONS No 2

RÉSUMÉS

DES COMMUNICATIONS, PRÉSENTÉES DANS LES

RÉUNIONS TECHNIQUES
7—10

ET DU RAPPORT CONCERNANT LES

RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DANS LE ROTTEGATSPOLDER
1947—1952

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 281

Septième Réunion Technique, le 23 novembre 1950

I. L'ÉTUDE DES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES 282

1. Considérations générales sur la précipitation, par L. J. L. DEIJ . . . 282
2. Application de la Théorie dite „des Valeurs Extrêmes" au calcul de la fréquence des quantités extrêmes de pluie (de durées différentes), par C. LEVERT 282
3. Périodes de sécheresse, par G. A. LENSTRA 283
4. La distribution de fréquence, par B. VISSER 283
5. Manipulation graphique de la répartition de fréquence de la pluie, par W. C. VISSER 284

Huitième Réunion Technique, le 13 décembre 1951

II. RECHERCHE DES COURANTS D'EAU SOUTERRAINE PAR DES MODÈLES RÉDUITS 286

1. Étude introductoire, par W. R. VAN WIJK 286
2. Problèmes relatifs aux courants des eaux souterraines dans l'agriculture; méthodes de recherche, par S. B. HOOGHOUDT (†) 286
3. Recherches sur les courants des eaux souterraines par modèles de sable à deux et à trois dimensions, par J. TH. THIJSSE. 287
4. L'importance pour la mécanique des sols des recherches de l'écoulement d'eau au moyen de modèles, par E. C. W. A. GEUZE. 287
5. Modèles à interstice, par G. SANTING 287
6. Projet d'un modèle basé sur les mouvements de la chaleur pour étudier les mouvements des eaux souterraines, par H. KUIPERS 288
7. Recherches des courants d'eau souterraine par modèles électriques, par C. G. J. VREEDENBURGH 288

Neuvième Réunion Technique, le 12 décembre 1952

III. MESURAGES ET AMÉLIORATIONS DANS LES BASSINS DE RUISSEAUX 289

1. Introduction, par F. VOLKER 289
2. Mesurages de niveaux d'eau et de l'écoulement dans de petits cours d'eau, par P. J. WEMELSFELDER 290
3. L'écoulement des petites rivières aux Pays-Bas, par J. H. M. LATOUR 291
4. La valeur de la détermination de la décharge de cours d'eau à l'usage de projets pour l'amélioration du sol, par W. C. VISSER 291

Dixième Réunion Technique. le 20 janvier 1954

IV. RECHERCHE GÉO-ÉLECTRIQUE 294

1. Principes et possibilités de la méthode géo-électrique, par B. BAARS . 294
2. Nouvelles résultats de recherches hydro-géo-électriques en Allemagne, par F. HALLENBACH 295
3. Détermination des salinités des eaux dans le sous-sol de la région du Lac Yssel par prospection géo-électrique, par E. O. HOUTSMA. . . . 295
4. Possibilités d'application de la methode géo-électrique aux Pays-Bas, par J. H. BELTMAN 296

Rapport de la Groupe de Recherches sur l'Évaporation

V. RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DANS LE ROTTEGATSPOLDER (1947—1952), par L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR, P. K. PEERLKAMP et A. H. STAM 298

AVANT-PROPOS

La première publication de la Section T.N.O. pour les Recherches Hydrologiques parut en 1952; depuis le besoin d'une réglementation intégrale de l'exploitation des ressources en eau du pays s'est imposée d'une façon toujours plus pressante. La population croissante, les besoins toujours montants en eau pour l'agriculture et l'industrie, la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, l'intrusion d'eau salée le long de la côte, voilà une série de facteurs qui demandent une exploitation et un régime judicieux des ressources en eau.

On ne peut atteindre ce but que par une coopération adéquate de toutes les organisations qui s'occupent de l'étude de l'eau dans les stades divers du cycle hydrologique.

Dans beaucoup d'autres pays du monde, une pareille situation se présente et un besoin de coopération se fait sentir, comme il apparut lors de la Xième Assemblée Générale de l'Union Géophysique et Géodésique Internationale à Rome en 1954. Aux Pas-Bays la coopération réalisée dans la Section T.N.O. des Recherches Hydrologiques répond à ce besoin.

La présente publication rend compte des rapports présentés aux Sessions Techniques de la Section T.N.O. pendant la période 1950–1954. À plusieurs reprises ces sessions ont stimulé la constitution de groupes spéciales pour une étude plus détaillée des sujets discutés. C'est ainsi qu'ont été formé des groupes de recherches sur les lysimètres, sur les méthodes de recherches géophysiques, sur les méthodes d'élaboration des données pluviométriques, etc.

La publication comprend aussi un rapport du Groupe de Recherches sur l'Evaporation, basé sur les résultats de ses études dans le Rottegatspolder.

La Section T.N.O. commémore feu le Docteur S. B. HOOGHOUDT, un des hydrologues-agronomes de grand mérite aux Pays-Bas, qui vient de décéder en 1953.

La Haye, novembre 1955

W. F. J. M. KRUL

Président

I. L'ÉTUDE DES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA PRÉCIPITATION

par L. J. L. DEIJ

On donne une vue d'ensemble sur l'importance que revêt la précipitation pour les théoriciens et les praticiens et sur les méthodes (synoptiques d'ordre météorologique et statistiques d'ordre climatologique) qui trouvent application à la réponse aux questions.

Une étude est consacrée à la physique de la formation des nuages et des pluies et une impression est donnée du problème de la pluie artificielle.

De plus, on a recherché les facteurs météorologiques de nature générale provoquant les précipitations. A la fin on a donné un tableau climatologique de la précipitation aux Pays-Bas.

2. APPLICATION DE LA THÉORIE DITE „DES VALEURS EXTRÊMES" AU CALCUL DE LA FRÉQUENCE DES QUANTITÉS EXTRÊMES DE PLUIE (DE DURÉES DIFFÉRENTES)

par C. LEVERT

Suit d'abord une description abstraite, purement mathématique de la „Théorie des Valeurs Extrêmes" (développée par GUMBEL). Cette théorie a pour objet de calculer les principales caractéristiques (une moyenne, dominante, médiane, un écart-type) de la fonction de densité des plus grandes valeurs prises dans un échantillon de nombre d'éléments N, choisis à tout hasard d'un univers statistique. Surtout lorsque N est très grand, la relation entre ces caractéristiques est fort simple. Cette théorie a trouvé application 1) à la plus grande quantité de pluie par mois (De Bilt, 1849–1946) et 2) à la plus grande précipitation quotidienne (De Bilt, 1901–1940), prises dans chaque année.

On a considéré ensuite dans chaque année la plus grande quantité de précipitation en pluies d'une durée totale de t minutes; t est respectivement de 1 – 5, de 6 – 10, de 11 – 15 ..... de 56 – 60 minutes. Sur la base de la Théorie des Valeurs Extrêmes ont été effectués des calculs de la moyenne et de la valeur la plus probable de la plus grande quantité de précipitation annuelle dans une pluie ($\bar{h}$ et $\tilde{h}$) et de la durée de retour moyenne de quantités très considérables dans les plus fortes pluies annuelles.

Objet de discussions faisait, de plus, le problème de l'extrapolation qui a toujours retenu l'attention. L'accent est porté sur la circonstance que beaucoup d'auteurs omettent de mentionner la précision statistique de leurs résultats, ce qui rend difficile la comparaison des résultats obtenus dans leurs recherches.

3. PÉRIODES DE SÉCHERESSE

par G. A. LENSTRA

Sur base de quelques définitions formulées en Angleterre de périodes de sécheresse, une enquête a été ouverte sur le nombre de périodes de sécheresse aux Pays-Bas en l'espace allant de 1867–1950 inclus. Il paraît qu'à la côte le nombre des périodes de sécheresse est plus grand qu'ailleurs dans notre pays, tandis qu'on peut observer, de plus, une autre répartition des périodes de sécheresse sur l'ensemble de l'année.

Sauf la quantité de pluie tombée, d'autres facteurs entrent en jeu chez les périodes de sécheresse, e.a. l'évaporation, le niveau de l'eau souterraine, la provision d'eau etc.

On a amorcé une étude pour pouvoir annoncer des périodes de sécheresse par ex. cinq jours par avant. Cela se fait à l'aide de cartex météorologiques, tandis que la recherche s'est concentrée particulièrement sur les déviations dans la circulation générale de l'atmosphère. Il paraît que les périodes de sécheresse aux Pays-Bas vont de pair avec une zone de haute pression aux environs de notre pays. Sont énumérées quelques répartitions de pression atmosphérique favorables aux périodes de sécheresse.

4. LA DISTRIBUTION DE FRÉQUENCE

par B. VISSER

Souvent on effectue nombre d'observations sur par ex. la précipitation, l'écoulement des rivières, les hauts niveaux de l'eau etc. dans le but d'en emprunter des indications pour tracer par ex. le plan d'un régime de drainage, d'un barrage, d'une digue etc. Pour donner un aperçu d'ensemble clair et simple des résultats obtenus dans les observations, on établit une distribution de fréquence.

Pour indiquer les caractéristiques on se servit des notions statistiques, soit: moyenne, l'écart-type et les coefficients pour l'assymétrie, etc. On indique ainsi les caractéristiques de la distribution par 3 à 5 constantes par ex.

De diverses façons on a cherché à déduire du matériel d'observation des formules pour la distribution de fréquence théorique. Ces formules donnent – sur base de 3 à 5 constantes par ex. – au mieux la valeur des fréquences pour l'entièreté de la quantité observée. Elles ajustent les irrégularités résultant du caractère limité du nombre des observations. De plus, on espère d'obtenir une notion plus claire des fréquences des valeurs extrêmes du phénomène.

On vise à fournir une vision générale de l'utilité de ces méthodes au regard aussi de la connaissance de la fréquence des valeurs extrêmes.

Un choix est fait parmi les méthodes connues. On traite deux méthodes représentatives, celle de PEARSON et celle de GOODRICH. La méthode de PEARSON est arithmétique, celle de GOODRICH graphique pour l'essentiel. La grande valeur de la méthode de GOODRICH est mise en évidence.

PEARSON formule les conditions que l'équation différentielle de la courbe de fréquence a à remplir et établit une formule pour cela. Il en déduit les équations

éventuelles des courbes de fréquence elles-mêmes. Ces formules sont définies par cinq constantes qui peuvent être déduites de la fréquence totale, de la moyenne et du 2ième, 3ième et 4ième moment. On peut trouver par là la formule des différents types de distribution de fréquence qui présentent un certain intérêt.

GOODRICH part de la formule pour la courbe de sommation dont il dit lui-même qu'il a pratiqué une „méthode purement empirique". Par différentation il établit la formule de la courbe de fréquence elle-même. Cette formule contient à nouveau cinq constantes. Pour trouver la valeur de ces constantes, GOODRICH pratique une méthode graphique menant au but d'une façon relativement simple et exigeant un minimum de travail. On peut trouver par là la formule des types de distribution de fréquence qui présentent un certain intérêt.

On prouve qu'avec les méthodes de PEARSON et de GOODRICH la distribution de fréquence peut être rendue d'une façon aussi précise qu'avec les quantités statistiques d'usage courant, telles que: moyenne, écart-type, etc.

On relève en fin de compte que la plus grande prudence est de rigueur dans le domaine des valeurs extrêmes.

5. MANIPULATION GRAPHIQUE DE LA RÉPARTITION DE FRÉQUENCE DE LA PLUIE

par W. C. VISSER

Les données touchant la répartition de fréquence pluviale sont dans la pratique au plus précieuses si elles traduisent la corrélation entre les quantités pluviales et les chances de transgression différenciées d'après la saison et la période. Ajoutons-y encore, le cas échéant, la durée de l'époque dans laquelle peut tomber la période en cause.

Il appert qu'on peut établir un nomogramme maniable face aux pluies et aux chances, lorsqu'on part des lignes de chances construites sur du papier logarithmique. C'est que ces lignes de chances peuvent être mises en commun par une simple transformation de déplacement. Le nomogramme en résultant, est reproduit dans les figures 5 et 6. La lecture se fait, en cherchant dans la figure de déplacement de la figure 5, se composant d'un portant et de quelques petites ellipses de déplacement, le point de la saison et de la période données. Le centre du cercle de la feuille à coordonnées de la figure 6 est placé ensuite sur ce point de la figure 5. La ligne de distribution des chances de la figure 5 – c'est la courbe ascendante sur la droite – représente maintenant la relation entre les quantités pluviales et la chance de transgression, exprimé en unités des axes de coordonnées de la figure 6 ajustés de la façon décrite plus haut.

Des efforts ont été entrepris pour expliquer la possibilité de conjuguer les courbes de chances par voie de déplacement. A cet effet, furent tracées des hypothèses d'action traitant des lois physiques, climatologiques et statistiques étant en jeu dans l'espèce;

opération qui connaissait un plus franc succès en regard des périodes plus longues que de celles de courte durée. Cela s'explique en partie par l'exactitude légèrement moindre des lignes de chances dans les périodes courtes.

La répartition des chances paraît être une répartition oblique exponentielle. Ces lois exponentielles sont d'un usage courant en physique pour définir le transfert d'énergie, tel que radiation et évaporation. Il paraît tout naturel de supposer aussi en regard de la condensation déclenchée par la pluie, la validité d'une loi sous cette forme. Cette loi explique la nature de l'obliquité.

L'incidence de la saison se trouve justifiée par le déplacement du point neutre d'après une ellipse de déplacement. La forme elliptique se produit par suite de la variation cyclique dans les précipitations.

Il appert que les déplacements horizontaux et verticaux du point neutre des coordonnées se déroulent d'après des lignes de sinus accusant, entre elles, des retards de trois mois. Le rapport est identique à celui existant entre une ligne de sinus et son intégrale. La question se pose maintenant pour savoir si le déplacement horizontal – qui a la signification d'un facteur de multiplication pour les quantités pluviales – peut avoir de la relation avec la température. Le déplacement vertical qui détermine le niveau d'une valeur-seuil, au-dessus de laquelle la pluviosité sera possible – pourrait, par surcroît, avoir de la relation avec la radiation que reçoit la terre. L'explication de cette partie de la figure de déplacement devra être donnée sur base des lois climatologiques.

Le portant des ellipses de déplacement tire sa forme des lois statistiques frappant la moyenne et l'étalement d'une somme en présence d'une distribution oblique exponentielle des chances. La forme du portant qui fut trouvée peut être très bien expliquée sur base des lois statistiques. Cependant, à l'égard des périodes très courtes, cette explication présente des inconvénients de nature physique dont on ne saurait encore calculer les conséquences. Pour avoir une claire notion dans les lois physiques expliquant la pluviosité, des recherches en heure et en minute des apports de pluie pourraient être du plus haut intérêt.

Il appert que l'opération graphique pratiquée en l'occurrence, pouvait aboutir à des nomogrammes utilisables du fait que l'opération correspond à tous points de vue aux lois définies dans les hypothèses d'action régissant le phénomène de la fréquence pluviale. Ces lois s'appliquent également à l'établissement du nomogramme le plus simple. Il y a des indices que les périodes courtes donnent lieu à des complications qui ne peuvent être attribuées à des écarts résultant de l'exactitude quelque peu trop limitée de ces recherches. Les corrélations existant entre les indices de pluviosité de jours successifs en sont un exemple. La méthode graphique pratiqué est d'une élasticité suffisante au point de justifier ces complications. Il sera important de rechercher, en utilisant du matériel plus exact, si ces complications sont assez importantes pour le résultat des recherches, afin d'en tenir compte dans la pratique. Sinon, le nomogramme pourrait être encore simplifié.

II. RECHERCHES DES COURANTS D' EAU SOUTERRAINE PAR DES MODÈLES RÉDUITS

1. ETUDE INTRODUCTOIRE

par W. R. VAN WIJK

Les essais-modèles tentés sur le mouvement de l'eau souterraine visent l'étude des courants lorsque le calcul prendrait trop de temps. Dans nombre de modèles s'emploient l'eau et la terre (sable), mais on peut aussi utiliser le courant électrique ou thermique, parce que la même équation différentielle s'applique au mouvement de l'électricité, de la chaleur et de l'eau dans le sol. Il s'emploie des modèles tout en particulier pour étudier le mouvement non stationnaire.

2. PROBLÈMES RELATIFS AUX COURANTS DES EAUX SOUTERRAINES EN AGRICULTURE; MÉTHODES DE RECHERCHE

par S. B. HOOGHOUDT (†)

Les problèmes relatifs aux courants des eaux souterraines, relevant de la compétence de la „Station expérimentale T.N.O. d'agronomie et Institut pour l'étude du sol" à Groningue, sont, au besoin, quasiment tous à réduire de trois dimensions à deux dimensions et à transformer en problèmes relatifs aux courants stationnaires. Comme il existe – tant pour les sols perméables homogènes que hétérogènes – diverses méthodes de solution par calculation et que ces calculs se laissent effectuer rapidement et avec une exactitude plus grande qu'avec les essais-modèles, on n'entreprend plus ces essais au dit Institut. Chez les deux méthodes (calculs et essais-modèles) il convient de connaître les conditions-limites et les constantes physiques du sol et l'exactitude avec laquelle ces données peuvent être déterminées, est en même temps une norme pour l'exactitude voulue de la méthodologie de la solution.

L'orateur expose ensuite que les conditions-limites pour les problèmes relatifs aux courants des eaux souterraines en agriculture sont d'une incertitude assez marquée, que les constantes physiques ne peuvent parfois être déterminées et que, dans les cas où cela se montre possible, leur détermination ne se fait souvent pas sans fautes. Pour cette raison, les possibilités des méthodes de solution par calculation simplifié et (ou) plus rapide sont d'une exactitude largement suffisante. Bien que la recherche-modèle nous apprenne sans doute nombre de particularités intéressantes, on préfère consacrer l'énergie et les moyens disponibles à quelques problèmes seulement dont on se préoccupe, par conséquent, intensivement, savoir:

1. complément et amélioration des déterminations de la perméabilité;
2. une meilleure notion dans le profil du sol et sa perméabilité du pays dans son entier, si possible.

De plus, il appartient à l'Institut de réduire des solutions exactes à des formules simples au moyen de tableaux auxiliaires, diagrammes etc. Il faut tendre à conserver une exactitude suffisante et ces solutions doivent être simplifiées de façon à ce qu'elles puissent être exécutées rapidement et qu'elles puissent être appliquées par un nombre maximum d'intéressés.

3. RECHERCHES SUR LES COURANTS DES EAUX SOUTERRAINES PAR MODÈLES DE SABLE À DEUX ET À TROIS DIMENSIONS

par J. TH. THIJSSE

A l'aide de ces modèles on peut étudier l'écoulement de l'eau souterraine dans des nappes se composant de couches de perméabilités différentes, et contenant des liquides de densité différente (eau douce et eau salée).

4. L'IMPORTANCE POUR LA MÉCANIQUE DES SOLS DES RECHERCHES DE L'ÉCOULEMENT D'EAU AU MOYEN DE MODÈLES

par E. C. W. A. GEUZE

L'étude mathématique de l'écoulement permanent par une digue devient pénible dans le cas, que le sol montre des effets de capillarité considérable.

Une solution satisfaisante est obtenue avec une modèle de la digue à échelle réduite, si la matière pulvérulente possède des propriétés de capillarité réduite à la même échelle.

L'étude mathématique de l'écoulement non-permanent a été faite pour le cas de la compression d'une couche d'argile, saturée d'eau, à propriétés élastiques simplifiées et pour les déformations dans une direction seulement.

Les recherches sur modèles réduites nous montrent les écarts causés par ces simplifications.

Les mesures dans les terrains nous donnent les quantités nécessaires pour préciser l'ordre de grandeur des écarts, par comparaison avec l'objet même.

5. MODÈLES À INTERSTICE

par G. SANTING

L'équation différentielle fondamentale pour le courant deux-dimensional d'eau souterraine est équivalente à celle en vigueur pour le courant laminaire d'un liquide visqueux à travers un interstice étroit, circonstance qui nous permet d'imiter des phénomènes de courants d'eaux souterraines à l'aide d'un modèle à interstice étroit entre deux plaques parallèles, à travers lequel on fait couler laminairement un liquide visqueux.

En position verticale, le modèle représente une coupe verticale d'une nappe: l'interstice représente le sol poreux, le liquide se trouvant dans l'interstice imite l'eau

souterraine et le niveau du liquide dans l'interstice correspond au niveau phréatique de la nappe.

En position horizontale, le modèle représente une couche aquifère d'une certaine étendue horizontale.

Des variations dans la perméabilité d'une couche aquifère sont imitées dans le modèle par des variations de l'épaisseur de l'interstice.

A l'aide des modéles à interstice on peut étudier les effets de la pluie, de l'évaporation, du puissement d'eau souterraine, du drainage, de la réalimentation artifi-fielle de la nappe, des problèmes de l'écoulement simultané des eaux douces et salées, etc.

6. PROJET D'UN MODÈLE BASÉ SUR LES MOUVEMENTS DE LA CHALEUR POUR ÉTUDIER LES MOUVEMENTS DES EAUX SOUTERRAINES

par H. KUIPERS

Un essai fut entrepris pour développer un modèle permettant d'imiter des courants d'eau souterraine, deux-dimensionaux et non-permanents basé sur la concordance entre les lois de mouvement de la chaleur et de l'eau souterraine. L'exécution du projet et les premiers résultats acquis sont illustrés à l'aide d'un exemple.

7. RECHERCHES DES COURANTS D'EAU SOUTERRAINE PAR MODÈLES ÉLECTRIQUES

par C. G. J. VREEDENBURGH

Cette méthode donne des résultats très précis. Elle se prête surtout aux recherches sur les courants permanents compliqués, tels que par ex. le courant d'eau phréatique d'une nappe avec des zones d'anisotropie différente de la perméabilité.

1. INTRODUCTION

par F. VOLKER

Avec la nomination de la Commission Gouvernementale pour la Recherche sur les irrigations (Staatscommissie voor de Bevloeiingen) en 1893, on entamait pour la première fois aux Pays-Bas une recherche se portant sur le terrain entier du régime des eaux. Ces recherches embrassaient le bassin des principaux ruisseaux. Mais, après avoir reporté sur cette matière au bout de 3½ ans environ, on semble avoir arrêté la plupart de ces recherches.

Après l'institution en 1942 du Conseil pour le régime des eaux (Raad voor de Waterhuishouding), d'un Service pour le régime des eaux de la Direction du Waterstaat (Dienst voor de Waterhuishouding bij de Rijkswaterstaat), et une Section pour le régime des eaux de la Direction Service Général du Waterstaat (afdeling Waterhuishouding bij de Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat), la recherche fut poursuivie.

Non seulement les circonstances dans les différents bassins s'étaient radicalement changées alors, la technique du recueillement des données s'était également perfectionné, tandis que l'amélioration des bassins était devenue plus urgente. De plus, les objets étaient plus étendues. En 1893 la recherche se bornait exclusivement à l'amélioration de ces terres du bassin qui pourraient être améliorées par la voie d'irrigation, tandis qu'on cherche maintenant à obtenir une idée de la possibilité d'amélioration de l'ensemble des terres situées dans le bassin par un meilleur régime de l'evacuation des eaux et de la nappe souterraine.

La recherche précédant l'amélioration du bassin d'un ruisseau, se porte sur l'étude des niveaux d'eau maxima et minima et sur les décharges les plus hautes et les plus basses, de même que sur l'ensemble des niveaux d'eau et de l'écoulement pendant des saisons sèches et des périodes de grande précipitation. Il faut aussi établir des graphiques pour les niveaux d'eau et des courbes d'écoulement pour en déduire le coefficient d'écoulement (c.à.d. la décharge exprimée en l/s par hectare).

Il faut déterminer le coefficient d'écoulement en cas de décharge anormalement élevée, en cas de décharge normale et des décharges anormalement basses.

De plus, une recherche doit être faite sur la corrélation entre la précipitation et l'évaporation d'une part et la conservation d'eau d'autre part. L'inconvénient est, que ni l'évaporation, ni l'écoulement souterrain, ou la conservation d'eau ne peuvent être déterminés d'une façon simple. L'étendue du mouvement souterrain et de la conservation d'eau dans le sol dépend de la composition et de la perméabilité des couches supérieures et celles plus profonde du sol.

En outre des plans – reliefs des terrains sont nécessaires, parce que leur déclivité excerce son influence sur l'écoulement, en ce qui concerne son volume aussi bien que

la direction. D'ailleurs il faut disposer de cartes plus détaillées (à l'échelle de 1 : 2500 et de 1 : 1000) afin d'y tracer les améliorations nécessaires.

Enfin les hauteurs moyennes des niveaux de la nappe souterraine et ses fluctuations doivent être connus avant de procéder à la modification du cours de ruisseaux, de leur profil transversal et de l'élévation des terrains le long des ruisseaux, les conséquences de ces changements sur les niveaux d'eaux et l'écoulement doivent être étudieés.

Tant que la connaissance des phénomènes résultant de ces changements est encore défectueuse, il est recommandable d'introduire des changements par voie progressive, tout en confrontant aussi bien que possible, lors de l'exécution du projet, les résultats obtenus avec les conséquences calculées.

2. MESURAGES DE NIVEAUX D'EAU ET DE L'ÉCOULEMENT DANS DE PETITS COURS D'EAU

par P. J. WEMELSFELDER

Un exposé d'ensemble est donné des moyens actuels d'observation pour mesurer les niveaux d'eau et l'écoulement.

A l'aide d'un schéma détaillé sont énumérés les principes permettant l'enregistrement des niveaux d'eau aussi à distance. 27 Fabriques européennes confectionnent des échelles d'eau enregistrices, en 100 à 150 modèles au total.

Le Waterstaat pratique la transmission de distance au moyen de petits moteurs Selsyn de traction; on se sert, dans l'espèce, du dispositif enregistreur normal.

Nommés sont les moyens permettant le mesurage des niveaux de la nappe souterraine dans des tuyaux étroits.

A l'aide d'un schéma détaillé sont énumérés les principes permettant le mesurage des vitesses de courant. Entrent en ligne de compte pour les ruisseaux néerlandais seuls les flotteurs, le moulinet à ailettes, le moulinet Price et le pendule. Le plus approprié à cet effet est le pendule dont le principe est le suivant.

Un corps de résistance, suspendu dans le courant à un fil, subit deux forces, soit: verticalement vers le bas la gravité, et horizontalement la force de compression de l'eau. La tangente de l'angle d'inclinaison du fil de suspension est une mesure directe pour la vitesse de l'eau sur l'endroit où se trouve le pendule. La valeur tangentielle est lue à une échelle.

S'il y a un pont, un échafaud et similaire à l'endroit où s'effectue le mesurage, les pendules sont commandés à la main. Au cas où il n'y a pas de pont et que le cours d'eau n'est pas plus large que 25 mètres, on pend le pendule à un planeur qui peut être commandé depuis la rive.

L'appareil est tendu entre les deux extrémités d'une ligne de halage tendue entre les rives.

Pour les cours d'eau plus larges, où l'on peut manipuler avec un bateau la plupart du temps, on peut suspendre les pendules à une coupole de lecture.

Des mesurages de contrôle ont couvert cent pour cent les mesurages effectués au moyen d'un flotteur et d'un moulinet. Ces mesurages de contrôle, ainsi que les avantages et les inconvénients du pendule sont amplement traités. Citons comme avantages en premier lieu la façon prompte et exacte dont s'effectue le mesurage des vitesses et des niveaux du profil.

3. L'ÉCOULEMENT DES PETITES RIVIÈRES AUX PAYS-BAS

par J. H. M. LATOUR

Depuis 1942 la Direction Service Général du Waterstaat (= Directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat) étudie le régime des eaux dans les bassins des petites rivières et ruisseaux néerlandais. Par suite des conditions actuelles la recherche n'a pu se développer qu'en 1946.

Après avoir reconnu le terrain, on a tracé des projets de mesurage pour toutes les zones importantes. Un grand nombre d'échelles d'eau a été placées, qui sont observé quotidiennement. Plus tard, on a procédé dans quelques cas à observer deux fois par jour le niveau d'eau ou d'en enregistrer continuellement les fluctuations. En 1952 la phase préparatoire de la recherche ne peut pas encore être close. On a commencé à élargir le nombre de lymnigraphes en introduisant en même temps l'emploi de pluviomètres enregistreurs dans les recherches. A maints endroits dispersés dans les bassins on effectuait des mesurages de vitesse du courant pour calculer l'écoulement. On procédait à la construction de courbes d'écoulement.

Dans quelques cas on a déjà fait un usage adéquat des données ainsi recueillies.

Les séries d'observations de longue durée – avec un optimum de 10 ans par exemple – sont indispensables pour les recherches de nature plus générale. Pour aucun bassin cette période n'a été atteinte. L'attention peut être concentrée pour la plus grande part sur l'assurance de la continuité et sur l'augmentation de la qualité des séries d'observation.

L'augmentation de l'attention accordée par l'Institut Royal Météorologique à De Bilt à l'élaboration des données relatives aux pluies, constitue une contribution importante aux recherches en cours actuellement sur le régime des eaux dans notre pays.

4. LA VALEUR DE LA DÉTERMINATION DE LA DÉCHARGE DE COURS D'EAU À L'USAGE DE PROJETS POUR L'AMÉLIORATION DU SOL

par W. C. VISSER

Les projets tendant à mieux utiliser le sol et l'eau à des fins agricoles, visent à maintenir l'eau souterraine à son niveau optimum. La figure 1 traduit la réaction du rendement de la végétation sur ce niveau de la nappe souterraine. Si les niveaux sont bas, la menace de la dessiccation devient très réelle dans des années à précipitation minime. La profondeur requise du niveau d'eau est en fonction de la capacité de

retention d'eau du profil, ou bien de la quantité en humus ou en limon, tel que démontre la figure 2 en regard de diverses teneurs en limon.

Le niveau d'eau ne doit être tenu temporairement à son niveau optimum, mais devrait y être maintenu constamment, se situant entre des limites étroites. La figure 4 démontre à quel point influent les fluctuations de la nappe souterraine sur les rendements des végétaux. Plus les fluctuations sont petites, plus les rendements sont élevés.

Cependant, il ne suffit pas de tenir exclusivement compte de l'amélioration du rendement des cultures en tant que base pour la réalisabilité de projets tendant à améliorer le sol. L'augmentation des rendements par la voie d'une hydraulique plus efficace sera principalement à prévoir dans des années sèches. Le recul des rendements en présence de niveaux d'eau bas peut être insignifiant dans des années à fortes pluies, ou même nul. Le choix des végétaux pour le programme d'emblavement mérite une attention particulière. Le programme d'emblavement se fait pour les conditions climatiques moyennes. Dans de bonnes conditions d'humidité – caractérisées dans la figure 5 par un niveau d'eau plus superficiel – l'agriculteur porte son choix sur une rotation plus intensive de ses cultures, comportant moins de seigle et plus de betteraves.

Les déterminations de décharge permettent de tracer des plans pour l'apport d'eau vers ces lieux qui en ont besoin et de déterminer quelle contrée pourrait être secourue avec cette eau et ce de quelle façon. Sous ce rapport il sera important de connaître la distribution de fréquence de la décharge sur un nombre variable de jours, tel que vous dépeint la figure 6. A part de ce diagramme de fréquence, il est donc nécessaire en vue des plans de développement agricole, de connaître la valeur de retention d'eau dans une région déterminée. Une décharge trop prompte est, depuis une certaine valeur, préjudiciable à la production agricole. L'eau ne devrait s'écouler, si l'on en a terriblement besoin plus tard, afin de combattre la sécheresse. Cet écoulement rapide se montre, en conséquence, onéreux, comme il déclenche l'inondation des terres basses, circonstance qui diminue matériellement la production prairiale, ce que reproduit la figure 7 au regard d'une contrée inondée et d'une contrée non inondée, avec évaluation du rendement prairial pour l'été suivant, basée sur le niveau de la nappe souterraine. Afin d'étudier la capacité de retention, des échelles d'eau à enregistrement automatique seront du plus haut intérêt.

Tant en regard du cout de la mise au point des plans, qu'en regard de la productivité du sol, il importe à des fins agricoles de tracer des projets sur la base de la conservation de l'eau, même dans les régions à décharge élevée en hiver. Il y a tendance à utiliser des constantes trop hautes de décharge. On trace par là des plans dans lesquels les profits d'un drainage adéquat en hiver se trouvent annihilés par les pertes causées par la sécheresse estivale. Pour cette raison, les mesurages de décharge devraient constituer une partie intégrante d'une coopération intégrée où devraient se conjuguer la connaissance du bilan d'eau de la région en cause, une claire vision dans les besoins agricoles et la qualification technique nécessaire à établir un plan dans lequel ces besoins se trouvent réalisés. Le plan d'ensemble de ces projets, de même

que leur mise au point par la population seront beaucoup moins compliqués, si, en traçant les schèmes de conservation, on pourrait se servir d'un déversoir bien construit qui permet de maintenir une différence constante entre les niveaux d'eau les plus élevés et les plus bas. La figure 9 traduit les principes d'un déversoir de ce genre.

Depuis peu de temps on s'est penché intensivement sur le problème du régime des eaux dans son ensemble. Aux milieux agricoles on se promet beaucoup de cette action. Et il y a lieu d'être content qu'on s'est livré à grande échelle à l'effectuation de mesurages de décharge dans des cours d'eau, car il en résultera, certes, des données précieuses fort utilisables à l'amélioration du sol et à l'emploi des eaux.

1. PRINCIPES ET POSSIBILITÉS DE LA MÉTHODE GÉO-ÉLECTRIQUE

par B. BAARS

La méthode géo-électrique a en vue d'obtenir des informations du sous-sol par des mesures à la surface de la terre, ce qui est rendu possible par les grandes variations dans la resistivité électrique où la conductivité des couches.

La conductivité est déterminée principalement par l'humidité du sédiment (porosité, conductivité ionique).

Il existe beaucoup de méthodes géo-electriques. Seulement la méthode de mesure de la résistivité sera discutée.

Dans le cas d'une électrode de courant, placé dans un espace semi-infini, limité par un plan horizontal, le potentiel diminuera proportionel à $\frac{1}{r}$.

Les surfaces équipotentiels sont des hémisphères et les lignes équipotentielles sur le plan sont des cercles dont le centre est l'electrode de courant.

Une inhomogénéité latérale (variation de la résistivité) déformera les lignes équipotentielles ainsi qu'elles ne seront plus des cercles.

La mise en carte des lignes équipotentielles nous montrera quelque chose de l'inhomogénéité. Cette méthode est peu usée, parce qu'elle prend assez de temps et la méthode de la résistivité donne plus d'informations sur le sous-sol.

Dans le cas d'une seule électrode de courant il était supposé que la deuxième électrode était placée à une distance infinie. Dans l'autre cas la distribution du potentiel peut être déterminée par sommer les potentiels des deux électrodes. Les différences dans le potentiel sont mesurées entre deux autres électrodes.

La disposition de ces électrodes peut varier. Seulement la disposition WENNER est discutée, ou les électrodes sont placées sur une ligne entre les électrodes de courants, à distances équivalentes le potentiel mesuré dans le cas de homogénéité est $V = \frac{\varrho I}{2\pi\alpha}$, d'où la résistivité ϱ peut-être déterminer.

Dans le cas d'inhomogénéité la même relation existe mais alors ϱ n'est pas la résistivité spécifique réelle, mais la résistivité spécifique apparente $\varrho\alpha$. L'application de la formule $\varrho\,\alpha = 2\,\pi\,\alpha\,\frac{V}{I}$ est démontrée sous le cas de deux couches.

En relation avec la précision des mesures et l'inhomogénéité des couches – notamment des couches superficielles – le profondeur d'où on peut obtenir des informations ne sera plus que 400 mètres.

Les résistivités mesurées doivent être relier aux donnés géologiques connus et aux forages.

2. NOUVELLES RÉSULTATS DE RECHERCHES HYDRO-GÉO-ÉLECTRIQUES EN ALLEMAGNE

par F. HALLENBACH

La méthode géo-électrique est appliquée de plus en plus aux recherches hydro-géologiques. En l'ouest de l'Allemagne 300 recherches hydro-géologiques ont été exécutées à l'aide de la méthode géo-électrique depuis la guerre, la plupart par la section géophysique de l'Amt für Bodenforschung à Hannovre.

La méthode a été appliquée surtout pour délimiter les terrains ou l'eau souterrain est saumâtre, particulièrement le long du rivage de la mer du Nord, partiellement à l'intérieur, aux environs des massifs de sel souterrain.

La détermination de la salinité dans l'ordre de 1000 à 2000 mg par litre est bien facile, pourvue que l'aquifère se compose seulement des sables et de gravier. Des aquifères dont le teneur en chlore est faible, montrent à peu près la même résistivité que les argiles et les marnes.

Souvent c'est la tâche du géophysicien de chercher et délimiter une aquifère et de désigner la perméabilité. Dans le nordouest de l'Allemagne il faut alors s'occuper à ce point de vue à la recherche des dépots d'argiles (Lauenburger Ton). Dans le sud de l'Allemagne il faut s'occuper à la détermination de l'épaisseur des couches de gravier dans les anciennes vallées couvert de formations plus récentes, et surtout du relief de la base de cettes aquifères.

La détermination géo-électrique de failles et de la nappe phréatique où piézométrique est rarement possible.

L'interprétation des mesures indique souvent plus de possibilités. Pour éviter des faux résultats il est désirable d'exécuter autant mesures que possibles et d'avoir à sa disposition autant de donnés hydro-géologiques que possible afin de limiter les possibilités.

La collaboration du géophysicien avec le géologue et l'hydrologue est une nécessité urgente.

3. DÉTERMINATION DES SALINITÉS DES EAUX DANS LE SOUS-SOL DE LA RÉGION DU LAC YSSEL PAR PROSPECTION GÉO-ÉLECTRIQUE

par E. O. HOUTSMA

En étudiant le problème de l'infiltration d'eau plus ou moins saumâtre dans les polders profonds du Lac Yssel (l'ancien Zuiderzee) et la possibilité de trouver de l'eau potable pour l'alimentation du nouveau polder „Oostelijk Flevoland", près de la côte du Veluwe, il était nécessaire d'étudier en détail la répartition des salinités dans les couches de sables perméables, d'une épasseur de 250 mètres environ, constituant le sous-sol plus profond du Lac Yssel.

Il serait très coûteux et prendrait beaucoup de temps d'obtenir l'information nécessaire à l'aide de forages. C'est pourqoui on a choisi une méthode geophysique. Le paquet de sables perméables, saturés d'eau, d'une épaisseur de 250 mètres, re-

couvert par des couches minces d'argile et de tourbe, sont bien homogènes au point de vue géologique, pendant que les variations latérales et verticales de la salinité sont insignifiantes en comparaison de l'épaisseur. Ces conditions indiquaient l'application de la méthode geo-électrique, c'est à dire la mesure de résistivités au moyen d'un dispositif, proposé par WENNER, au courant continu.

Le principe de cette méthode est discuté. Les mesures ont été exécutés partiellement dans les polders ou sur les digues et en partie sur le fond du Lac Yssel. Dans ce dernier cas on a opéré avec un cable composé de quatorze cables séparés et insulés, chacun se terminant par une électrode. Ces électrodes étaient distribuées le long du cable d'une tel manière que neuf configurations Wenner pouvaient être choisies.

Pour la mise à l'épreuve de la méthode des mesures étaient faits près des forages à grandes profondeurs, réalisés au préalable, d'où étaient pris des échantillons d'eau. Les analyses de ces échantillons d'eau démontraient une bonne corrélation entre la teneur en chlore et la résistivité électrique ϱl du liquide des pores. La résistivité ϱ des couches de sable saturées était déterminée par des mesures geo-électriques. Il existe la relation: $\varrho/\varrho l = 4{,}5$. De cette relation, qui est indépendant de la salinité, le teneur en chlore du liquide des pores pourrait être estimé. Des mêmes résultats sont obtenues par d'autres auteurs.

4. POSSIBILITÉS D'APPLICATION DE LA MÉTHODE GÉO-ÉLECTRIQUE AUX PAYS-BAS

par J. H. BELTMAN

Les problèmes suivants, dont il est espérer que la méthode géo-électrique peut contribuer à une solution, sont discutés.

1. *Les dépots épais d'argiles dans le nord des Pays-Bas*

Les dépots épais d'argiles („potklei") sont connus des forages dans les provinces de Friesland et Groningen. L'origine de ces dépots est encore inconnue. La connaissance de l'extension et de la relation éventuelle des dépots divers peut contribuée à l'interprétation de l'origine. Une recherche seulement par forages serait très couteuse. Il est probable que la méthode géo-électrique peut assister à obtenir des donnés. L'inventarisation des dépots d'argiles est d'un intérêt économique.

2. *Les couches de limon et argile plio-pleistocène à l'ouest de Noord-Brabant*

Les couches de limon et d'argile aux environs de Bergen op Zoom sont intercalées très irrégulièrement dans les sables. Il est encore impossible d'y reconnaisser un système quelconque. La méthode géo-électrique peut contribuer à une solution. L'inventarisation est d'un intérêt économique au point de vue de l'industrie.

3. *Dislocations en Limburg et Noord-Brabant*

En général les dislocations déterminées par les recherches gravimétriques (1940–1946) et les recherches seismiques récemmentes de la surface du Carbonifère, corres-

pondent avec les lignes d'affleurement, déterminées par la recherche pétrologique des sédiments (ZONNEVELD, 1947).

Des anomalies existent néanmoins. Une location plus en détail des lignes d'affleurement par la méthode géo-électrique est probable.

4. *Problèmes stratigraphiques d'une importance hydrologique*

Les dépressions dans le Tertiare, remplis de sédiments quaternaires, près de Winterswijk et Eibergen, sont discutés. La configuration et l'extension de ces dépressions sont connues à peu près par les forages réalisés au profit de l'alimentation en eau potable. Une reconnaissance plus détaillée peut être d'avantage, non seulement au point de vue géologique, mais aussi en cas de développement de l'alimentation en eau potable.

5. *L'épaisseur et la perméabilité des couches aquifères*

L'épaisseur et la perméabilité de certaines formations (comme le „Hoogterras") varient considérable de distance en distance. Afin d'éviter la possibilité de forer des puits là ou la formation aquifère est très mince où peu perméable, une reconnaissance détaillée de la formation est nécessaire, ce qui peut être effectuer bien vite par la méthode géo-électrique.

6. *La répartition des salinités dans le sous-sol*

La méthode géo-électrique a été appliquée avec beaucoup de succès par le Dienst der Zuiderzeewerken, afin de déterminer la répartition des salinités dans le sous-sol du Lac Yssel.

Aussi l'application de la méthode en d'autres parties des Pays-Bas, par examples les dunes et les provinces de Friesland, Groningen et Zeeland, où se rencontrent les mèmes problèmes, est justifiée.

V. RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DANS LE ROTTEGATSPOLDER (1947—1952)

par L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR, P. K. PEERLKAMP ET A. H. STAM

Pendant la première réunion technique de la Section T.N.O. des Recherches Hydrologiques (T.N.O. = l'Association Néerlandaise centrale pour la Recherche Scientifique Appliquée) du 15 février 1946, d'amples informations furent données sur l'investigation projectée (voir *Verslagen Technische Bijeenkomsten* nr 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's-Gravenhage, 1952, p. 11—30, avec résumés en anglais et en français resp. aux p.p. 279—283 et 307—311).

Les provisions techniques à prendre pour les recherches furent pour la plus grande partie exécutées en 1946 et furent terminées en 1947, après quoi les recherches commencèrent.

Les appareils nécessaires pour la détermination de l'évaporation selon la méthode de transport vertical de vapeur, étaient d'abord de caractère simple, de sorte qu'au commencement on ne pouvait effectuer des observations de températures et des vitesses du vent que 3 fois chaque jour. En même temps la base théorique de cette méthode fut considerée plus profondément. En 1948 des instruments améliorés et enregistrant continuellement furent pris en usage. Il paraissait nécessaire de porter à son maximum le fonctionnement extrêmement sensible des instruments et l'accuratesse des enregistrations des données différentes. Plus d'une fois une révision et une nouvelle vérification des appareils devaient s'effectuer.

Aussi les données de l'évaporation obtenues ne sont pas tout à fait satisfaisantes, mais pour le moment elles donnent une approximation acceptable de la valeur de l'évaporation des terrains cultivés.

Une continuation de cette méthode d'investigation est justifiée et désirable. En considérant les expériences obtenues des mesures ont été prises pour la fabrication et la mise en usage d'une installation de psychromètre-anémomètre toute revisée extrêmement sensible et enregistrant avec grande exactitude.

Pour le calcul de l'évaporation de bilan d'eau du polder des périodes d'un mois paraissaient suffisantes. Pourtant il n'était pas possible de déterminer pendant un terme si court des changements dans le dépot d'eau du sol d'une manière assez suffisante. La dispersion dans les données compilées pour ce but était toujours d'un tel caractère, que l'exactitude, avec laquelle l'èvaporation — l'article final du bilan d'eau — peut être calculé, était inacceptable.

Par conséquence on prend pour le polder depuis le printemps de 1951 des périodes d'environ 3 mois. Aussi, au cours de l'investigation, il parut nécessaire de reviser la place orginale des pluviomètres fixes, des différences systématiques étant constatées dans les résultats des observations.

Il parut possible pour les 4 sections de drainage-lysimètre de prendre des périodes d'un mois pour le bilan d'eau, parce que les changements par période dans le continu

d'eau du sol peut être déterminé plus exactement — à cause de l'extension limitée de l'objet (625 m² par section) — que pour le polder entier (86,6 ha).

D'abord les 4 sections ne furent pourvues que d'un seul drainage. La perméabilité horizontale du sol parut être si grande cependant, que — dépendant des circonstances hydrologiques — de l'eau du terrain contigu coulait vers la section ou de la section vers le terrain circonvoisin.

Une parafouille en bois se montrait une séparation presque complète entre les sections et le terrain circonvoisin. Sur le lot avec les 4 sections ne fut cultivé qu'une seule espèce de végétaux. L'exactitude avec laquelle l'évaporation des 4 sections peut être déterminée n'est pas encore suffisante pour procéder à la cultivation de différentes plantes sur chaque section afin de pouvoir déterminer les différences éventuelles entre l'évaporation des différents végétaux, comme on s'était proposé d'abord. Une telle mesure augmentera en signification pourtant quand l'exactitude de la détermination de l'évaporation selon la méthode du transport vertical de vapeur s'agrandira.

Entre les données d'évaporation, obtenues dans différentes manières il existe maintenant une analogie insuffisante pour réaliser une vérification complète de la méthode du transport vertical de vapeur. Cependant il existe une confiance justifiée, que la continuation des recherches amènera à de bons résultats.

27663 - '55 (9056)