

23 MRT 1955

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk Rapport W.R. 54-002 (III-135)

Dr C. Kramer

Onderzoek naar de invloed van neerslag en verdamping op de
dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand

De Bilt, 1954

Kon. Ned. Meteor. Inst.
De Bilt

II. e. 349.

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk Rapport W.R. 54-002 (III-1952)

All Rights Reserved.

Nadruk zonder toestemming van het K.N.M.I. is verboden.

Dr C. Kramer

Onderzoek naar de invloed van neerslag en verdamping op de dagelijkse
fluctuaties van de grondwaterstand.

(1e Jaarverslag, tot 1 Maart 1954).

	<u>Pag.</u>
0 <u>Indeling van het verslag</u>	1
A ORGANISATORISCH EN ALGEMEEN GEDEELTE	
1 <u>Opzet van het onderzoek</u>	3
2 <u>Korte beschrijving van de apparatuur</u>	3
2.1 de regenmeter	3
2.2 de verdampingsmeter	3
2.3 de grondwaterstandsbuis	4
3 <u>De waarnemingen</u>	4
4 <u>Storingen bij de waarnemingen</u>	4
4.1 neerslagwaarnemingen	4
4.2 grondwaterpeiling	5
4.3 verdampingsmetingen	5
5 <u>Bewerking van de waarnemingen</u>	5
6 <u>Verantwoording betreffende de datum van afsluiting van de eerste verslagperiode</u>	6
7 <u>Overzicht van het gedurende de verslagperiode verkregen waarnemingsmateriaal</u>	6
B TECHNISCH GEDEELTE	
8 <u>Vergelijking van de op de verschillende stations gemeten verdampingswaarden</u>	8
8.1* afwijkingen der afzonderlijke stations, gemiddeld over 9 maanden	12
8.2 afwijkingen der afzonderlijke stations per maand	12
8.3 afwijkingen over kortere perioden	13
8.4 geografische verschillen	13
8.5 vergelijking van de verdamping in het Noorden en in het Zuiden van Nederland op grond van de formule van PENMAN ..	15

		<u>Pag.</u>
9	<u>De grondwaterstanden</u>	17
	9.1 de maandgemiddelden voor de verschillende stations	17
10	<u>De invloed van de neerslag en van de verdamping op de</u> <u>dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand</u>	19
	10.1 <u>Algemene beschouwing</u>	19
	10.1.1 moeilijkheden bij de bepaling van de effectieve neerslag en de reële verdamping	19
	10.1.2 moeilijkheden samenhangende met de toestand van de grond boven het grondwater	20
	10.1.3 neerslag en verdamping niet de enige factoren die het grondwaterpeil beïnvloeden	22
	10.2 <u>De verwerking der gegevens</u>	23
	10.2.1 de invloed van de neerslag; de grootheden Q en Q/R ..	23
	10.2.2 de invloed van de verdamping	30
	10.2.3 bewerking van onze gegevens met behulp van de polyfactor-analyse	35
11	<u>Enkele theoretische beschouwingen over de invloed van</u> <u>neerslag en verdamping op de grondwaterstand</u>	36
C	CONCLUSIES EN RICHTLIJNEN	43
D	{ SAMENVATTING	45
	{ SUMMARY	48

A ORGANISATORISCH EN ALGEMEEN GEDEELTE

1 Opzet van het onderzoek

In het kader van de onder auspiciën van de "Commissie Onderzoek Landbouw-waterhuishouding Nederland" (verder aangeduid als C.O.L.N.) uitgevoerde onderzoeken naar de grondwaterstanden in Nederland, kwam de wenselijkheid naar voren, informatie te verkrijgen omtrent de aard en grootte van de veranderingen, die van dag tot dag in het grondwaterpeil optreden onder invloed van weerfactoren, in 't bijzonder van de neerslag en de evapotranspiratie. Bij gebrek aan voldoende gegevens hierover in de literatuur werd een experimenteel onderzoek nodig geacht. Ter verwezenlijking hiervan werd samenwerking gezocht met het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Als resultaat van de hierover gevoerde besprekingen werd besloten, dat aan een aantal van de geregelde neerslagwaarnemers van het K.N.M.I. verzocht zou worden, tevens dagelijks waarnemingen van de verdamping en peilingen van de grondwaterstand uit te voeren. Als basis werd aangenomen een aantal van ca 60 regenstations, verspreid over Nederland, waarop deze metingen zouden worden verricht.

Vanwege de C.O.L.N. werd opgegeven, in welke omgeving men deze metingen bij voorkeur zag uitgevoerd, waarna het K.N.M.I. de geschikte stations aanwees. De C.O.L.N. verzorgde de plaatsing van de peilbuizen en stelde peilloodjes beschikbaar, het K.N.M.I. verstrekte naast de reeds aanwezige regenmeter aan de waarnemers een verdampingsmeter volgens PICHE met de nodige instructies en formulieren. Bij het K.N.M.I. berust tevens de dagelijkse leiding van de waarnemingen. De bewerking van het materiaal werd opgedragen aan schrijver dezes.

Het contact tussen de samenwerkende instanties voorzover het de technische zijde van het onderzoek betreft, wordt onderhouden doordat schrijver dezes regelmatig de maandelijks werkbesprekingen met de Provinciale Ingenieurs van de C.O.L.N. kan bijwonen en loopt voorts in hoofdzaak via de Provinciale Ingenieurs.

2 Korte beschrijving van de apparatuur

2.1 De regenmeter is de normale stationsregenmeter van het K.N.M.I. met een oppervlak van 400 cm^2 , geplaatst op een hoogte van 40 cm boven maaiveld

2.2 De verdampingsmeter volgens PICHE (vereenvoudigde uitvoering) bestaat uit een gecalibreerd glazen reservoir in de vorm van een reageerbuis, inhoud ca 25 cc, dat gevuld wordt met water en afgesloten door een cirkelvormig schijfje van groen vloeipapier met een diameter van 34 mm. In het middelpunt van de schijf is met een naald een klein gaatje geprikt. De

schijf wordt met behulp van een metalen veer tegen de vlak geslepen rand van het buisje gedrukt en het geheel wordt in verticale stand in een stevig statief geklemd met de door de schijf afgesloten opening van het buisje naar beneden. De schijf komt daarbij op een hoogte van 30 cm boven de grond.

Het water in het reservoir wordt door de poreuze schijf opgezogen en verdampt hieruit. Het verdampte water wordt in het reservoir vervangen door lucht, die in kleine belletjes binnendringt via het gaatje in de schijf. De snelheid van de verdamping van het water uit dit apparaat, die gemeten wordt door met bepaalde tussenpozen (als regel 1 maal per etmaal) de stand van de vloeistofspiegel in de buis af te lezen, is (tot op zekere hoogte) een maat voor de potentiële verdamping.

2.3 De grondwaterstandsbuis is een poreuze cementen buis van 2 m lengte, samengesteld uit losse leden van 25 cm lengte en 5 cm diameter. De peilbuis is van onder open. De peiling geschiedt op verreweg de meeste stations met behulp van een z.g. "klokloodje", een aan de onderkant uitgehold kegelvormig blokje lood, opgehangen aan een metalen meetband. Wanneer men dit loodje in de peilbuis laat zakken veroorzaakt het treffen van de holle onderkant op de waterspiegel een klokkend geluid. Op sommige stations wordt in plaats van de meetband met klokloodje een peilstok gebruikt. Een zeer klein aantal stations bezit een peilbuis van afwijkende constructie of van een andere lengte.

Gepeild wordt op de bovenrand van het bovenste lid van de peilbuis; correctie op maaiveldpeil is achteraf mogelijk met behulp van gegevens, berustende bij het Archief voor Grondwaterstanden.

3 De waarnemingen

Eénmaal per dag, des ochtends om 8h, wordt de regenmeter afgetapt, de grondwaterstand gepeild en de verdampingsmeter afgelezen en, zo nodig, opnieuw gevuld en van een nieuwe schijf voorzien. Op enkele stations wordt des Zondags niet waargenomen; afgezien van het feit dat des zomers een enkele maal de inhoud van de verdampingsmeter niet voldoende bleek voor twee etmalen, leverde dit geen overwegende bezwaren op.

De verkregen gegevens worden op daartoe bestemde maandkaarten ingevuld, die na het einde van iedere maand aan het K.N.M.I. worden toegezonden.

4 Storingen bij de waarnemingen

4.1 Bij het waarnemen van de neerslag doen zich vrijwel geen storingen voor.

4.2 Bij de grondwaterpeiling deed zich op enkele stations gedurende korter of langer tijd het verschijnsel voor dat het grondwaterpeil beneden -2 m daalde, zodat de gebruikte buizen te kort waren en gedurende deze perioden geen grondwater gepeild kon worden. Overwogen wordt, op de daarvoor in aanmerking komende stations buizen van 3 m lengte te plaatsen.

Moeilijkheden bij het verrichten van de peiling deden zich in enkele gevallen voor, doordat de buizen scheef waren ingeslagen, of door het ontzet raken der leden of het verstopt raken der buizen. Na kennisgeving door de waarnemer konden deze bezwaren meestal snel worden verholpen.

In een zeer klein aantal gevallen bleek de buis achteraf op een minder geschikt punt te zijn geslagen of moest ze in de loop van het onderzoek om onvoorziene redenen worden verplaatst.

4.3 Verreweg de meeste moeilijkheden deden zich voor bij het waarnemen van de verdamping.

Bij verst kunnen de verdampingsmeters niet worden gebruikt wegens het gevaar voor stukvriezen. Bij sterke wind en (in mindere mate) bij hevige regen worden de vloeipapier-schijven vaak beschadigd. In een dezerzijds verschenen rapport (R III 122, 1953) over de bruikbaarheid van Piche-evaporimeters met vloeipapier-schijf onder ongunstige weersomstandigheden is uiteengezet, dat in de zomerperiode (April t.e.m. Augustus 1953) ten gevolge van dit euvel gedurende gemiddeld ruim 8 % van de totale waarnemingstijd geen verdampingsmetingen konden worden uitgevoerd. Voor de verschillende stations varieert het percentage uitvallers tussen 0 en 30 %. Voor verdere bijzonderheden zij verwezen naar het bovenvermelde rapport. Ten aanzien van de hier besproken storingen is een verbetering te verwachten van de invoering van het nieuwe type verdampingsmeter met keramische schijf.

5 Bewerking van de waarnemingen

De eerste fase van de bewerking bestaat in het controleren der stationskaarten en het verzamelen van de gecorrigeerde gegevens der verschillende stations voor iedere maand afzonderlijk op maandstaten.

Incomplete reeksen verdampingsgetallen worden waar mogelijk aangevuld met behulp van gegevens van naburige stations, incomplete reeksen peildata worden door interpolatie gecompleteerd indien het verloop van het betreffende grondwaterpeil daartoe voldoende regelmatig lijkt. Een en ander geschiedt op zodanige wijze, dat de indirecte gegevens van de directe te onderscheiden blijven (zie verder onder § 8). Voor elk station worden de maandtotalen van de neerslag en van de verdamping, het daggemiddelde van de verdamping en het gemiddelde grondwaterpeil uitgerekend en op de maandstaten ingevuld.

Vervolgens wordt voor ieder station afzonderlijk een maandgrafiek vervaardigd, waarop de van dag tot dag gemeten neerslag, verdamping en grondwaterpeil van de betreffende maand worden uitgezet. Deze grafieken maken het mogelijk, a.h.w. in één oogopslag een globale indruk van het verloop van de drie grootheden gedurende de maand te verkrijgen. Zij dienen mede ter directe inlichting van de Provinciale Ingenieurs en worden tot dit doel vanwege de C.O.L.N. vermenigvuldigd en maandelijks aan de genoemde Ingenieurs verstrekt.

6 Verantwoording betreffende de datum van afsluiting van de eerste verslagperiode

Hoewel dit verslag als "Jaarverslag" is betiteld, mag hieruit niet worden afgeleid, dat van alle stations gegevens over precies een jaar aanwezig zijn. Met de inrichting van de eerste stations werd reeds in Augustus 1952 een aanvang gemaakt. Deze "oudste" stations konden dus reeds over September 1952 complete reeksen waarnemingen verschaffen. Gedurende de daarop volgende winter kon uiteraard de inrichting van nieuwe stations slechts zeer geleidelijk worden voortgezet. In het vroege voorjaar van 1953 werd het tempo versneld, zodat vanaf 1 Maart 1953 een belangrijk deel van het als doel gestelde aantal stations in werking kon treden. Dit gevoegd bij het feit, dat de datum van 1 Maart gevoeglijk beschouwd kan worden als begin van het "agrarisch jaar" en tevens het begin aangeeft van de "klimatologische lente", deed ons besluiten, de eerste verslagperiode per ultimo Februari 1954 af te sluiten, ondanks het feit dat nog niet alle stations een vol jaar hadden gewerkt.

7 Overzicht van het gedurende de verslagperiode verkregen waarnemingsmateriaal

Figuur 1 geeft een overzicht van de stations, provinciegewijs gerangschikt, met de tijdvakken waarover gegevens zijn ontvangen.

In deze figuur zijn door arcering aangeduid tijdvakken waarover incomplete gegevens werden ontvangen. Wij noemen de gegevens incompleet, wanneer over het gehele betreffende tijdvak minstens één van de drie soorten gegevens (grondwaterstand, verdamping en neerslag) niet is waargenomen. In verreweg de meeste gevallen betreft dit of grondwaterstand of verdamping.

Tijdvakken waarover complete waarnemingen werden ontvangen zijn zwart ingevuld, terwijl de tijdvakken waarover in 't geheel geen waarnemingen werden ontvangen, wit zijn gelaten. Het begrip "complete waarnemingen" is in dit schema zeer ruim geïnterpreteerd; wij hebben namelijk de waarnemingen niet als incompleet beschouwd, wanneer slechts incidenteel op enkele dagen een der gegevens ontbrak, bijvoorbeeld de verdamping, als gevolg van windschade of van nachtvorst.

Uit het overzicht mag dus niet worden afgeleid, dat in de als "complete" aangeduide tijdvakken inderdaad van iedere dag over alle drie de

factoren directe gegevens aanwezig zijn. Wel was het in deze gevallen veelal mogelijk, op een der in § 5 aangeduide manieren de gegevens te completeren.

Uit het overzicht blijkt, dat van het in de linkerkolom vermelde totaal van 71 stations, die in het schema waren opgenomen, slechts 55 gedurende een redelijke tijd complete gegevens hebben opgeleverd.

In Groningen werken alle 7 stations regelmatig.

In Friesland leverden 4 van de 7 oorspronkelijke stations reeksen van behoorlijke lengte.

Van de 5 stations in Drente is Zweelo minder geschikt, daar de peilbuis van Mei tot Februari geen water bevatte. De overige zijn goed.

In Overijssel zijn de waarnemingen te Nieuwleusen reeds spoedig gestaakt. Weerselo had slechts gedurende 4 maanden water in de peilbuis. De rest is goed.

Van de 7 stations in Gelderland heeft Lochem nimmer en Aalten slechts gedurende 1 maand complete gegevens verschaft. Ammerzoden heeft geen water in de peilbuis; Tiel sedert September 1953 ook niet.

De 4 stations in Utrecht werken alle bevredigend. Zegveld-gemaal neemt geen grondwaterstand op; wij handhaven dit station om t.a.v. de verdamping vergelijkingsmateriaal te hebben met Zegveld-proefpolder.

Van de 5 stations in N.Holland heeft feitelijk alleen Schagen een behoorlijk continuë reeks. Obdam viel spoedig uit; Kolhorn is later hiervoor in de plaats gekomen en werkt regelmatig. Aalsmeer en Beemster hebben veel lacunes.

De 6 stations in Z.Holland werken alle goed. Mookhoek en Barendrecht zijn echter pas zeer laat ingericht.

In Zeeland hebben alleen Schoondijke en Kraaijertpolder volledige reeksen geleverd. Axel en Anna-Jacobapolder hadden te kampen met droogstaande peilbuizen.

Van de 10 stations in N.Brabant zijn er 9 redelijk goed; Leenderstrijp heeft nimmer iets geleverd.

In Limburg zijn IJsselstein en Stamproy behoorlijk goed, Weert heeft veel lacunes.

Voor de hieronder volgende beschouwingen over de drie gemeten grootheden en hun samenhang hebben we nog een verdergaande selectie op de stations toegepast, waarbij ook die stations zijn uitgeschakeld, die wel goede waarnemingen leveren doch door allerlei omstandigheden nog slechts een korte reeks konden produceren. In het algemeen komt dit hierop neer, dat de stations die ná 1 Maart 1953 zijn gaan functionneren, niet in de beschouwing zijn betrokken.

Wij zullen in de eerste plaats met name de factoren verdamping en grondwaterpeil afzonderlijk beschouwen en daarna de invloed van respectievelijk verdamping en neerslag op het grondwaterpeil trachten na te gaan. De groep stations die voor deze verschillende beschouwingen in aanmerking komt omvat in hoofdzaak steeds dezelfde stations en wel een aantal van ruim 40 stations in totaal.

De factor neerslag wordt niet afzonderlijk besproken. Uiteraard vertoont de neerslag van plaats tot plaats aanzienlijke verschillen. Dit is een bekend verschijnsel en dit verslag is niet de plaats om hierop nader in te gaan.

3 TECHNISCH GEDEELTE

8 Vergelijking van de op de verschillende stations gemeten verdampingswaarden

Op de gemeten verdamping willen wij wèl iets nader ingaan, daar het onderhavige onderzoek voor zover ons bekend het enige is, waarbij op een groot aantal plaatsen in Nederland volgens een uniforme methode gelijktijdig de verdamping is gemeten.

Van de locale variatie van de verdamping in Nederland is nog weinig bekend. Directe bepalingen van de verdamping zijn in het verleden slechts op een zeer beperkt aantal plaatsen uitgevoerd en bovendien veelal incidenteel en niet met het oog op een systematische vergelijking. Het hierbij meestal gebruikte apparaat, de open verdampingsbak, leent zich om allerlei redenen slecht voor een vergelijkend onderzoek op grote schaal. Men kan natuurlijk ook zijn toevlucht nemen tot een indirecte methode en door berekening uit gemeten meteorologische grootheden trachten een overzicht van de locale variatie van de verdamping te verkrijgen. De hiervoor het meest in aanmerking komende berekeningsmethode is die van PENMAN; de werkwijze die bij deze berekeningsmethode moest worden toegepast was tot voor kort echter dermate omslachtig, dat men van een toepassing op grote schaal werd afgeschrikt. ^{*)}

^{*)} Door P.J. Rijkoort (K.N.M.I.) is een stel nomogrammen ontworpen, met behulp waarvan het mogelijk is geworden de berekening van PENMAN-waarden dermate te versnellen, dat toepassing op grote schaal niet langer een bezwaar is.

Vanwege het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek te Wageningen heeft men getracht een verdampingskaart van Nederland samen te stellen, gebaseerd op de formule van THORNTHWAITE. Deze methode is evenwel feitelijk te ruw om voor toepassing op kleine gebieden geschikt te zijn.

Aan de door ons hier gevolgde methode kleven evenzeer bezwaren, die dan ook bij de bespreking van het cijfermateriaal voor den dag zullen komen. Om de omstandigheden waaronder de verdamping uit de evaporimeters plaats vindt zo goed mogelijk te doen aansluiten bij die waaronder de evapotranspiratie van de begroeiende bodem plaats vindt, werden de evaporimeters op geringe hoogte boven de grond (+ 30 cm) opgesteld. Dientengevolge wordt de invloed van ondergrond en onmiddellijke omgeving echter zeer sterk. Daar het natuurlijk praktisch onmogelijk was deze condities bij alle stations uniform te maken en daar bovendien in bepaalde gevallen door wijziging van de begroeiing e.d. in de omgeving de omstandigheden met de tijd veranderen, vertonen de verdampingscijfers der verschillende stations grote onsystematische verschillen, waarvan de oorzaken veelal niet duidelijk zijn na te gaan.

Bij beschouwing van het totale waarnemingsmateriaal is het niettemin toch mogelijk gebleken, enigermate een systematische tendens op te merken.

Wanneer men de verdampingsgegevens van de diverse stations vergeelijkt voor afzonderlijke dagen, is in de verzameling getallen nauwelijks enige regelmaat te ontdekken. Dit behoeft ons ook niet te verwonderen, gezien het grote aantal van, merendeels achteraf oncontroleerbare, factoren dat op de grootte van het gemeten verdampingsbedrag in een bepaalde plaats op één bepaalde dag invloed uitoefent. In de eerste plaats kan reeds de algemene weersituatie op een bepaalde dag voor verschillende plaatsen zeer verschillend zijn. Met name geldt dit bijvoorbeeld voor een voor de verdamping zeer belangrijke factor als zonneshijn. Relatieve luchtvochtigheid en temperatuur zullen als regel van plaats tot plaats niet zulke krasse verschillen en abrupte overgangen vertonen, maar wél kan dit weer gelden voor de factor wind, waar bovendien, als gevolg van de veelal toch enigszins beschutte ligging van de stations en de plaatsing van de verdampingsmeters op zeer geringe hoogte, nog bij komt dat hier ook de windrichting belangrijke verschillen kan veroorzaken! Een station, dat bijvoorbeeld ten opzichte van de "normale" westelijke windrichtingen als vrij open liggend gekarakteriseerd kan worden, kan voor zuidoostenwind zéér beschut liggen en daardoor op dagen, waarop de wind uit laatstgenoemde richting waait, plotseling "abnormaal" lage verdampingswaarden vertonen. Het is vanzelfsprekend ondoenlijk om de dagecijfers van alle stations over de hele periode naar dergelijke combinaties van omstandigheden te beoordelen; bovendien zou

TABEL I

Maandtotalen verdamping in cc (Piche)

	1953											1954
	Mrt.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	F
Roodeschool	53 [±]	145	164 [±]	112 [±]	123	119	86 [±]	37	31 [±]	137	-	
Niekerk	74 [±]	135	183	112	143	123	92	40	31	15 [±]	187	
Vlagtwedde	75 [±]	157 [±]	201	139	139	96	80	37	35	18 [±]	-	
Ter Apel	82 [±]	-	234 [±]	165 [±]	197	157 [±]	122 [±]	56	45	25 [±]	-	
Doezum					126	118	86	48	36	-	227	
Joure	847	145	176	136	1717	170	109 [±]	46	34 [±]	167	-	
Nieuw Beets	727	113	142 [±]	138	167	131	80	52 [±]	23 [±]	15 [±]	-	
Appelsga	73 [±]	113 [±]	129 [±]	111	132	117 [±]	82 [±]	29	30 [±]	17 [±]	-	
Gorredijk							111	47	-	-	-	
Roden	977	144 [±]	2257	181 [±]	1987	1727	133	59 [±]	36 [±]	14 [±]	-	
Witteveen	897	154 [±]	211	144 [±]	171 [±]	164	124 [±]	47	377	10 [±]	-	
Klazienaveen	867	165	222	141	1777	159	110	46 [±]	30 [±]	167	-	
Zweelo	727	1257	180	107	149	134	95	41	29 [±]	15 [±]	-	
Giethoorn	96 [±]	117	152 [±]	159 [±]	204	170	132	48	40 [±]	177	-	
Rouveen	95 [±]	143	-	-	-	-	105	50	37	13	-	
Dedemsvaart	1037	1807	2397	129	157 [±]	181	169	64	51	207	-	
Rheezerveen	-	-	-	118	154 [±]	157	121	50	-	-	-	
IJsselmuiden	85 [±]	186 [±]	224	165	241	197 [±]	112	48 [±]	50 [±]	15 [±]	-	
Vroemshoop	857	150 [±]	219 [±]	145	155	166 [±]	108	42	36	167	-	
Weersele	-	-	223 [±]	-	-	206 [±]	-	45 [±]	39	19	-	
Doetinchem	787	159 [±]	1827	132 [±]	168	136 [±]	113	34	31	157	-	
Barneveld	102 [±]	171 [±]	208	178	206	175	132	52	38 [±]	19 [±]	-	
Veenendaal	100	164	227	176	185	130	94	44	24 [±]	167	-	
Tiel	109	188	234	159	184	143	81	42	41	18	-	
De Bilt	1097	170 [±]	225	181 [±]	251	197 [±]	143 [±]	59	47	24 [±]	-	
Zegveld Pr.	947	148	193	164 [±]	192 [±]	1687	1257	53 [±]	46	21 [±]	-	
Zegveld Gem.	83	149	192	127	185	124	105	37	29	8 [±]	217	
Loenen	75 [±]	124	185 [±]	126	165 [±]	107	89	33	19	8 [±]	2147	
Schagen	917	154 [±]	205	145	188	165	105	48	40	20	2197	
Lisse	1157	186	235 [±]	172 [±]	256	220 [±]	154	68	48	227	-	
Boskoop	94	150	243	144	207	172	115 [±]	51	36	17 [±]	-	
Naaldwijk	95	183	228	186	257	210	158	73	48	17	2147	
Ouddorp	81	133	172	142 [±]	200	146	121	67 [±]	42	18 [±]	-	
Kraayertpld.	89 [±]	180 [±]	200 [±]	146 [±]	-	-	-	52	38	10 [±]	2107	
Schoondijke	1167	2037	2697	177 [±]	192 [±]	185 [±]	162 [±]	72	60 [±]	31 [±]	2277	
Axel	105	152	170	125	150	164	119	49	27	15	2187	
Klundert	-	-	-	123 [±]	148 [±]	120 [±]	94	34	27	-	-	
Andel	767	148 [±]	198	101	143	137 [±]	100	37	36 [±]	14	2147	
Ammerzoden	84 [±]	150	213	-	-	158	109	41	26 [±]	8 [±]	-	
Kessel	105	194	203	166	181	197	187	59	44	21	-	
Gemert	109 [±]	2057	297	173	252 [±]	221	169 [±]	63	49	24	-	
Zundert	887	155 [±]	204 [±]	154	1807	172	142	54	19	7	-	
Rips	777	1357	160	100	142	128	113	52	37	15	-	
Stamproy	1067	169 [±]	258	149	201	178	1407	64	54	31 [±]	-	
IJsselstein	98 [±]	177	294 [±]	178	214 [±]	190 [±]	160	64	54	23	-	
Som	1962	5271	7414	5826	6378	6339	4822	2234	1529	553	-	
n	22	34	36	40	35	40	41	45	41	32	-	
Gem.	89	155	206	146	182	158	118	50	37	17	(215)	

Totaal circa 1190 cc = 714 em (met reductiefactor 0,6).

n = aantal stations met maandtotalen van de 1e en 2e klasse,
 met ± = maandtotalen van de 2e klasse; tussen [] = maandtotalen van de 3e klasse.

men daartoe elk station met een vrijwel complete meteorologische waarnemings-apparatuur moeten uitrusten en over een tot in details nauwkeurige beschrijving van de plaatselijke situatie moeten beschikken. Bovendien zijn er nog andere, niet-meteorologische oorzaken denkbaar die afwijkingen van de dag-waarden van bepaalde stations ten gevolge kunnen hebben, bijv. een verschil in het tijdstip van aflezen. (De regenwaarnemers zijn door hun instructie gebonden aan een nauwkeurig bepaalde afleestijd, maar het is niet ondenkbaar dat hiermede na etmalen waarin zéker geen regen is gevallen ten aanzien van de meer-tijd-rovende verdampingsmeting wel eens de hand wordt gelicht!).

Met de afzonderlijke dag-waarden is dus weinig aan te vangen. Neemt men de tijdperken echter langer, dan wordt dit beter. Wij hebben ons daarom bepaald tot het vergelijken van de verschillende stations over perioden van een hele maand.

In TABEL I wordt voor een aantal stations opgegeven de totale verdamping per maand, uitgedrukt in de direct gemeten grootte, n.l. in cm^3 verdamp water. De tabel bevat de gegevens van de periode Maart 1953 (daarvóór waren te weinig stations in bedrijf) tot en met Februari 1954. In December en in nog sterkere mate in Januari en Februari zijn de meeste stations echter wegens de vorst buiten bedrijf geweest, zodat in feite alleen over de periode Maart t.e.m. November bruikbaar vergelijkingsmateriaal aanwezig is.

In totaal zijn gegevens van 45 stations in de tabel opgenomen. Echter konden in eerste instantie van een aantal stations één of meer maandtotalen niet worden vastgesteld, daar hier te veel uitgevallen dagen voorkwamen (alleen October is compleet).

Wanneer van een bepaald station in zekere maand één of enkele dagen ontbraken, werd voor deze dag(en) een "vermoedelijk" verdampingsgetal ingevuld door vergelijking met naburige stations. Wanneer de op deze wijze verkregen vermoedelijke verdampingsgetallen in totaal minder dan 5% van het maandtotaal uitmaakten (de vermoedelijk gemaakte fout is dan een breukdeel van 5%, dus waarschijnlijk niet meer dan 1 à 2% van het totaal), werd het betreffende maandtotaal zonder meer in tabel I opgenomen. Wij noemen dit type in het vervolg: maandtotalen van de 1e klasse.

Wanneer het totaal der door vergelijking verkregen "vermoedelijke" verdampingsgetallen tussen 5% en 20% van het maandtotaal uitmaakte, werd het maandtotaal in tabel I opgenomen voorzien van een \approx . Dit zijn dus "twijfelachtige" waarden: maandtotalen van de 2e klasse.

Maandtotalen, waarbij méér dan 20% verkregen moest worden langs indirecte weg, werden voorlopig niet opgenomen. De lacunes werden later aangevuld volgens een hieronder beschreven methode.

TABEL II

Verdamping

Afwijkingen in Procenten van het Gemiddelde

	Mrt.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Gem. afwijking in % over 9 mnd.	σ		
Roodeschool	-40	-6	-20	-23	-32	-25	-27	-26	-16	-24	-14	9,5	
Niekerk	-17	-13	-11	-23	-21	-22	-22	-20	-16	-18		4,3	
Vlagtwedde	-16	+1	-2	-5	-24	-39	-32	-26	-5	-16		14,4	
Ter Apel	-8	.	+14	+13	.	-1	+4	+12	+22	+8		10,2	
Doezum	.	.	.	.	-31	-25	-27	-4	-3	-18		13,4
Joure	.	-6	-15	-7	.	+8	-8	-8	-8	-6	-15	7,0	
Nieuw Beets	.	-27	-31	-5	-8	-17	-32	+4	-38	-19		15,0	
Appelsga	-18	-27	-37	-24	-27	-26	-31	-42	-19	-28		7,8	
Gorredijk	.	.	.	.	.	.	-6	-6	.	-6		0
Roden	.	-7	.	+24	.	.	+13	+18	-3	+9		-3	13,4
Witteveen	.	-1	+2	-1	-6	+4	+5	-6	.	-0,4	4,5		
Klazienaveen	.	+6	+8	-3	.	+1	-7	-8	-19	-3	9,3		
Zweelo	.	.	-13	-27	-18	-15	-19	-18	-22	-19	4,6		
Giethoorn	+8	-25	-26	+9	+12	+8	+12	-4	+8	+0,2	+4		15,3
Rouveen	+7	-8	.	.	.	.	-11	0	0	-2		7,2
Dedemsvaart	.	.	.	-12	-14	+15	+43	+28	+38	+16		24,7	
Rheezerveen	.	.	.	-19	-15	-1	+3	0	.	-6		9,9	
IJsselmuiden	-4	+20	+9	+13	+32	+25	-5	-4	+35	+13		15,6	
Vroomshoop	.	-3	+6	-1	-15	+5	-8	-16	-3	-4	+8	8,2	
Weerselo	.	.	+8	.	.	+30	.	-10	+5	+8		16,5	
Doetinchem	.	+3	.	-10	-8	-14	-4	-32	-16	-12		-1	11,0
Barneveld	+15	+10	+1	+22	+13	+11	+12	+4	+3	+10			6,6
Veenendaal	+12	+6	+10	+21	+2	-18	-20	-12	-35	-4			16,2
Tiel	+22	+21	+14	+9	+1	-10	-31	-16	+11	+2	18,0		
De Bilt	.	+10	+9	+24	+38	+25	+21	+18	+27	+22	-1		9,1
Zegveld Pr.	.	-5	-6	+12	+5	.	.	+6	+24	+6		11,2	
Zegveld Gem.	-7	-4	-7	-13	+2	-22	-11	-26	-22	-12		9,4	
Loenen	-16	-20	-10	-14	-11	-32	-25	-34	-49	-23		12,9	
Schagen	.	-1	0	-1	+3	+4	-11	-4	+8	-0,2		+15	5,3
Lisse	.	+20	+14	+18	+41	+39	+30	+36	+30	+29	10,1		
Boskoop	+6	-3	+18	-1	+14	+9	-3	+2	-3	+4	7,9		
Naaldwijk	+7	+18	+11	+27	+42	+33	+34	+46	+30	+28	13,3		
Ouddorp	-8	-14	-17	-3	+10	-8	+3	+34	+14	+1	16,1		
Kraayertpld.	0	+16	-3	0	.	.	.	+4	+3	+3	+9	6,7	
Schoondijke	.	.	.	+21	+6	+17	+37	+44	+62	+31		20,4	
Axel	+18	-2	-17	-14	-18	+4	+1	-2	-27	-6		13,8	
Klundert	.	.	.	-16	-19	-24	-20	-32	-27	-23		-1	5,9
Andel	.	-5	-4	-30	-21	-13	-15	-26	-3	-15			10,3
Ammerzoden*	-6	-3	+3	.	.	0	-8	-18	-30	-9	11,5		
Kessel	+18	+25	-1	+14	-1	+25	+58	+18	.	+20	18,6		
Gemert	+22	.	+44	+18	+38	+40	+43	+26	+32	+33	9,9		
Zundert	.	0	-1	+5	.	+9	+20	+8	-49	-1	+24	22,4	
Rips	.	.	-22	-31	-22	-19	-4	+4	0	-13		13,3	
Stamproy	.	+9	+25	+2	+10	+13	.	+28	+46	+19		15,0	
IJsselstein	+10	+14	+43	+22	+34	+20	+36	+28	+46	+28		12,6	

* Ammerzoden is abusievelijk onder N.Brabant opgenomen i.p.v. onder Gelderland.

Uit de maandtotalen van de 1e en 2e klasse bepaalden we voor elk der maanden Maart t.e.m. December een landsgemiddelde. Deze landsgemiddelden, die men eveneens in tabel I vindt, berusten dus niet voor iedere maand op dezelfde of evenveel stations en hebben dientengevolge en ten gevolge van de verschillen in verhouding tussen maandtotalen van de 1e en de 2e klasse evenmin alle dezelfde betrouwbaarheid. \surd Voor Januari en Februari konden wij slechts een onderste grens bepalen \surd .

Ten opzichte van de zo verkregen landsgemiddelden bepaalden wij vervolgens voor alle stations en voor iedere maand afzonderlijk de procentuele afwijking.

Bijvoorbeeld:

Landsgemiddelde October	=	50	cm ³
Maandtotaal De Bilt October	=	59	cm ³
Procentuele afwijking De Bilt October	=	+18	%

Deze procentuele afwijkingen zijn verzameld in TABEL II.

Met behulp van tabel II kon nu tabel I gecompleteerd worden, op de volgende manier:

Voor ieder station berekenden wij het gemiddelde van de procentuele afwijkingen van dat station voor de afzonderlijke maanden (voorzover van dat station maandsoorten 1e of 2e klasse bekend waren). De gegevens van de maand December, als in 't algemeen van te onzekere aard, lieten we daarbij buiten beschouwing.

Bijvoorbeeld voor De Bilt:

	Mrt.	Apr.	Mei	Juli	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Gemiddeld
procentuele afw.	—	+10	+9	+24	+38	+25	+21	+18	+27	+22

(geen totaal berekend)

Met behulp van deze gemiddelde procentuele afwijking, de z.g. gemiddelde stationsafwijking, en de landsgemiddelden uit tabel I konden wij nu voor de aanvankelijke lacunes van tabel I benaderde waarden invullen, n.l. als volgt:

Stel station S heeft een lacune in de maand M. Het landsgemiddelde van M zij m, de gemiddelde stationsafwijking van S zij p %, dan wordt de benaderde waarde van de verdamping van het station S in de maand M gelijk gesteld

aan $\left(\frac{100 + p}{100} \right) m$.

100

Bijvoorbeeld, toegepast op het bovenstaande geval van De Bilt:

$$\begin{aligned} \text{Landsgemiddelde Maart} &= 89 \text{ cm}^3 \\ \text{Gem. stationsafwijking De Bilt} &= +22 \% \\ \text{Benaderde waarde De Bilt van Maart} &= \frac{122}{100} \times 89 = 109 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Deze benaderde waarden, die uiteraard nog belangrijk onzekerder zijn dan de maandtotalen van de 2e klasse, noemen wij maandtotalen van de 3e klasse; ze zijn in tabel I aangeduid door getallen tussen haakjes. De maandtotalen van de 3e klasse mogen natuurlijk niet in tegenspraak zijn met de uitkomsten van de directe meting die eventueel van een gedeelte van de betreffende maand aanwezig is. Dit heeft zich echter in de praktijk nimmer voorgedaan.

Wanneer wij de verdampingsgetallen der afzonderlijke stations en hun afwijkingen van de landsgemiddelden beschouwen, merken wij het volgende op:

8.1 Afwijkingen der afzonderlijke stations gemiddeld over 9 maanden

De afwijkingen in de totalen van de 9-maandse periode voor de individuele stations zijn groot. Het station met de hoogste verdampingswaarden is Gemert met een gemiddelde positieve afwijking van 33 % t.o.v. het landsgemiddelde; het station met de geringste totale verdamping is Appelsga met een gemiddelde negatieve afwijking van 28 %. De verhouding van de totalen voor deze twee stations is 133/72, of 1,85/1,00.

8.2 Afwijkingen der afzonderlijke stations per maand

De verschillen per maand zijn veelal nog groter, wat blijkt uit onderstaand overzicht:

<u>Maand</u>	<u>Hoogste</u>	<u>Laagste</u>	<u>Verhouding</u>
Maart	{ Gemert Tiel	Rodeschool	122/60 = 2,03
April	Kessel	{ Appelsga Gorredijk	125/73 = 1,71
Mei	Gemert	Appelsga	144/63 = 2,30
Juni	Naaldwijk	De Rips	127/69 = 1,84
Juli	Naaldwijk	Rodeschool	142/68 = 2,09
Augustus	Gemert	Vlagtwedde	140/61 = 2,30
September	Kessel	{ Vlagtwedde Nieuw Beets	158/68 = 2,32
October	Naaldwijk	Appelsga	146/58 = 2,52
November	Schoondijke	Zundert	162/51 = 3,18

Het is niet duidelijk, wat de reden is dat de verschillen vooral in de latere maanden zó groot zijn.

8.3 Afwijkingen over kortere perioden

De verschillen over een decade of kortere periode spreiden, zoals reeds gezegd is, dermate onregelmatig, dat er, ook wanneer de klaarblijkelijk foutieve bedragen geëlimineerd worden, geen positieve conclusies uit te trekken zijn.

8.4 Geografische verschillen

Wanneer wij de procentuele afwijkingen der stations in verband trachten te brengen met hun ligging, valt het volgende op:

a) De stations in de Noordelijke provinciën (Groningen en Friesland) leveren, met uitzondering van Ter Apel, alle sterk negatieve afwijkingen. Gemiddeld over de 9 meegetelde stations in deze 2 provincies bedraagt de afwijking ruim -14 %. Ter Apel, dat bijna steeds een positieve afwijking heeft, drukt deze gemiddelde afwijking sterk; de overige stations in Groningen en Friesland hebben of wel in alle maanden een negatieve afwijking of slechts een enkele maal een geringe positieve afwijking.

Ook Drenthe geeft gemiddeld nog een duidelijk negatieve afwijking, hier is het station Roden positief, terwijl Witteveen gemiddeld, alsook in de afzonderlijke maanden, het landsgemiddelde zeer dicht benadert.

Dit laatste geldt ook van het enige meetellende station in N.Holland, n.l. Schagen.

In Overijssel is de toestand meer gecompliceerd, hier vertonen de stations Dedemsvaart en IJsselmuiden een vrij sterk positieve afwijking. Dit zijn zeer open liggende stations in een vlakke omgeving.

De stations in Gelderland en in Utrecht leveren gemiddeld ongeveer het landsgemiddelde, met aanzienlijke onderlinge verschillen. Het hoogst is hier De Bilt met + 22 %, het laagst Loenen met -23 %. (Dit laatste station ligt in een nogal sterk beschutte omgeving). Merkwaardig zijn de afwijkingen van de stations Veenendaal en Tiel; deze zijn tot en met Juli vrij sterk positief, daarna bijna zonder uitzondering negatief. Mogelijk heeft verandering in de omgeving (toenemende begroeiing?) hier een rol gespeeld. Opvallend zijn verder de verschillen tussen de twee dicht bij elkaar gelegen stations te Zegveld: Zegveld-Proefpolder met een gemiddelde afwijking van + 6 %, Zegveld-Gemaal met een gemiddelde afwijking van - 12 %.

Grote locale verschillen vinden wij ook in de provincie N.Brabant: in het Noordwesten Klundert en Andel met sterk negatieve afwijkingen (evenals het Gelderse Ammerzoden); meer naar 't Oosten Kessel en vooral Gemert met sterk positieve afwijkingen. Zundert heeft sterk wisselende

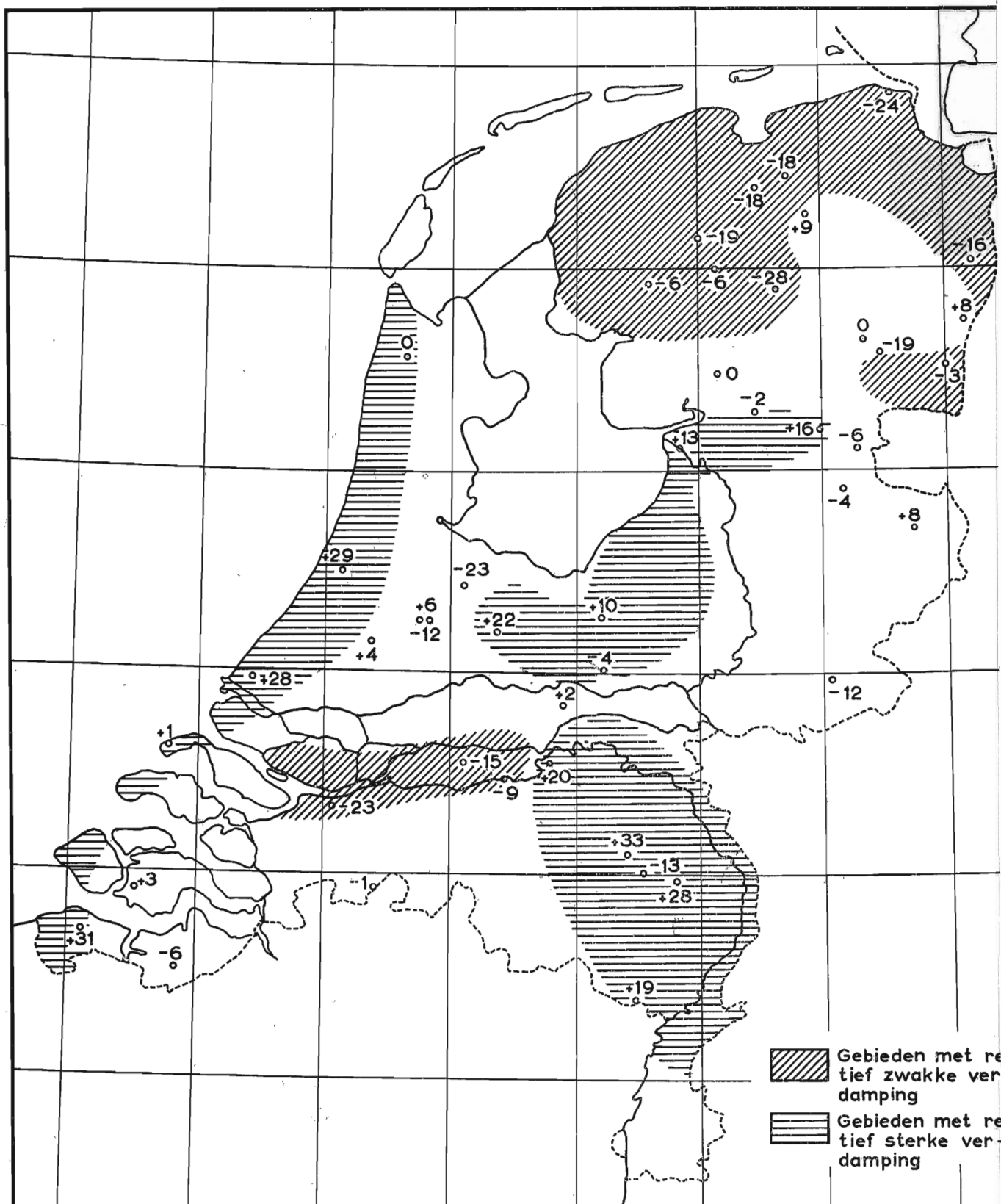


Fig. 2

afwijkingen, De Rips ligt over 't geheel zeer veel lager dan de naburige stations.

De beide stations in Limburg hebben sterk positieve afwijkingen, in Zeeland hebben we weer het merkwaardige geval van 2 vrij dicht bij elkaar gelegen stations, n.l. Schoondijke en Axel, waarvan het eerste een sterk positieve en het tweede een negatieve afwijking heeft.

Opmerkelijk zijn verder de hoge verdampingswaarden in de dicht achter de duinen gelegen stations Lisse en Naaldwijk in de provincie Zuid-Holland. Gezien de grote variatie in de verdampingscijfers van de verschillende stations moet men met het trekken van conclusies ten aanzien van de invloed van de geografische ligging uiterst voorzichtig zijn. Blijkbaar spelen strikt-plaatselijke verschillen (verschillen in het "mesoklimaat") een zeer belangrijke, zo niet overwegende, rol. (Vgl. bijv. Zegveld-Gemaal met Zegveld-Proefpolder, De Rips met Gemert en IJsselstein, Schoondijke met Axel). Voor deze specifiek-locale verschillen is vermoedelijk het meer of minder geëxponereerd zijn van de verdampingsmeter ten opzichte van de wind een zeer belangrijke oorzaak.

Wanneer wij het overzicht van de verdampingsgegevens zoveel mogelijk trachten te ontdoen van dergelijke lokale bijzonderheden, komt als algemeen beeld het volgende naar voren:

Relatief lage verdamping hebben de Noordelijke provincies (Friesland, Groningen, in mindere mate ook Drenthe). Enigermate schijnt dit ook te gelden voor het Westelijk deel van het gebied van de grote rivieren (Kluisdert -23 %, Andel -15 %, Ammerzoden -9 %) en misschien het Utrechts-Zuidhollands laagveen-weidegebied (Loenen -23 %, Zegveld -12 % resp. +6 %).

Relatief sterke verdamping vindt men in de eerste plaats in het Zuidoosten (Oostelijk N.Brabant en N.Limburg: Gemert +33 %, IJsselstein +28 %, Stamproy +19 %) en verder in het centrum van het land (De Bilt +22 %, Barneveld +10 %) en in een strook onmiddellijk achter de duinen (Lisse +29 %, Naaldwijk +28 %, Schoondijke +31 %).

Op het bijgaande kaartje is een poging gedaan, door een arcering de gebieden met resp. lage en hoge verdamping enigszins aan te duiden. Uit klimatologisch oogpunt is voor sommige van deze bijzonderheden wel enige grond te vinden, men denke bijv. aan de lagere temperaturen en hogere luchtvochtigheid in het Noorden in vergelijking met speciaal het Zuidoosten des lands, en aan het relatief hoge zonneshijnspercentage en de grote windsterkte in de kuststreek.

Niettemin waren deze grote verschillen in verdamping tussen bijvoorbeeld de 2 noordelijke provincies en het zuidoosten op het eerste gezicht bevreemdend. Feitelijk werd een verhouding verwacht, die veel

dichter bij 1 lag.

Wij hebben daarom een vergelijking tussen deze gebieden uitgevoerd met behulp van de verdampingsformule van PENMAN.

8.5 Vergelijking van de verdamping in het Noorden en in het Zuiden van Nederland op grond van de formule van PENMAN.

Voor de bepaling van de verdamping in het Noorden werd gebruik gemaakt van de reeds voor een ander doel berekende PENMAN-waarden van de Rottegatspolder bij Ten Boer (Gr.).

Wij vergeleken deze met de waarden, berekend uit de maandgemiddelden van temperatuur, relatieve vochtigheid en zonschijn van het termijnstation Gemert (N.Br.), aangevuld met de voor deze plaats geschatte windsnelheden. In Gemert is tevens een C.O.L.N.-station gevestigd, waarvan wij dus de Piche-waarden gebruiken. Ter vergelijking met de Rottegatspolder gebruikten wij de gemiddelde Piche-waarden van de 3 C.O.L.N.-stations Roodeschoel (Ro), Niekerk (Ni) en Vlagtwedde (Vl). De Rottegatspolder ligt vrijwel in het zwaartepunt van de driehoek door deze 3 plaatsen.

Wij vinden dan de volgende verhoudingsgetallen voor de verschillende maanden (November is niet meegeteld, daar over deze maand geen gegevens van de Rottegatspolder beschikbaar waren):

	Mrt.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Gem.	σ
verhouding $\frac{\text{Gemert}}{\text{Rottegatspolder}}$										
volgens PENMAN :	1,43	1,42	1,24	1,68	1,29	1,41	1,42	1,55	1,43	0,14
verhouding $\frac{(\text{Gemert} \times 3)}{(\text{Ro} + \text{Ni} + \text{Vl})}$										
volgens C.O.L.N.-cijfers :	1,63	1,40	1,62	1,43	1,87	1,96	1,97	1,66	1,69	0,22

Uit deze cijfers blijkt, dat het verhoudingsgetal van „Zuid“ t.o.v. „Noord“ volgens de C.O.L.N.-gegevens weliswaar iets groter is dan volgens de PENMAN-cijfers (gem. 1,69 tegen 1,43) doch het verschil is niet verontrustend (het valt binnen de σ -grenzen), te minder, waar uit oudere berekeningen dikwijls is gebleken, dat PENMAN-waarden uit maandcijfers berekend vaak de tendens vertonen, extremen enigszins te verzwakken.

Opvallend zijn de hoge verhoudingscijfers van de Piche-waarden in de nazomermaanden Juli, Augustus en September. Hiervoor is geen plausibele verklaring.

De directe vergelijking van de PENMAN-getallen met de Piche-gegevens levert een aantal moeilijkheden op. Zoals bekend is, levert de berekening volgens PENMAN een waarde voor de potentiële evaporatie, gebaseerd op de energiebalans.

In de eindformule komt o.a. een factor voor die de verdamping van een open watervlak aangeeft. Door proeven met open bakken tracht men wel, de verdamping van open watervlakken langs directe weg te leren kennen, maar hierbij is gebleken dat de geometrie van de opstelling en de wijze van expositie van de betreffende bakken van grote invloed zijn op het resultaat. Iets dergelijks geldt ten aanzien van Piche-verdampingsmeters, waarbij ook de wijze van opstelling een invloed uitoefent op het resultaat. Onder meer geldt dit van de hoogte, waarop de evaporimeters zijn opgesteld. Bij een korte serie metingen met vrij opgestelde Piche-verdampingsmeters op verschillende hoogten boven de grond is ons reeds gebleken, dat tussen de uitkomsten op verschillende hoogten geen constante verhouding bestaat. Dit is fysisch ook zeer goed te verklaren, daar zowel het temperatuurprofiel als het windprofiel verschillen in de gemeten verdamping kunnen veroorzaken. Wij beschikken niet over directe vergelijkingen tussen Piche-evaporimeters op +30 cm en metingen van de potentiële evapotranspiratie langs andere weg. Wanneer wij daarom trachten een reductiefactor te berekenen door gelijkstelling van de met de Piche-meters gevonden verdampingssommen en de volgens PENMAN berekende verdamping over de gehele hier beschouwde periode, vinden wij het volgende resultaat:

Maand	Gemert			Prov. Groningen		
	Verd. uit Piche-meter in cc	Verd. vlg. PENMAN in mm	Piche-waarden gereduceerd tot mm met $r = 0,55$	Verd. uit Piche-meter ¹⁾ in cc	Verd. vlg. PENMAN ²⁾ in mm	Piche-waarden gereduceerd tot mm met $r = 0,66$
Mrt.	109	50	60	67	35	44
Apr.	205 ³⁾	111	113	146	78	96
Mei	297	143	163	183	115	121
Juni	173	128	96	121	76	80
Juli	252	147	139	135	114	89
Aug.	221	128	122	113	91	75
Sept.	169	80	92	86	57	57
Oct.	63	34	35	38	22	25
Totaal	1489	821		889	588	
Reductie factor r gem.	→ 0,55		→ 0,66		→ <u><u><u>0,6</u></u></u>	

Piche-waarden met reductiefactor 0.6
vergeleken met Penman-cijfers

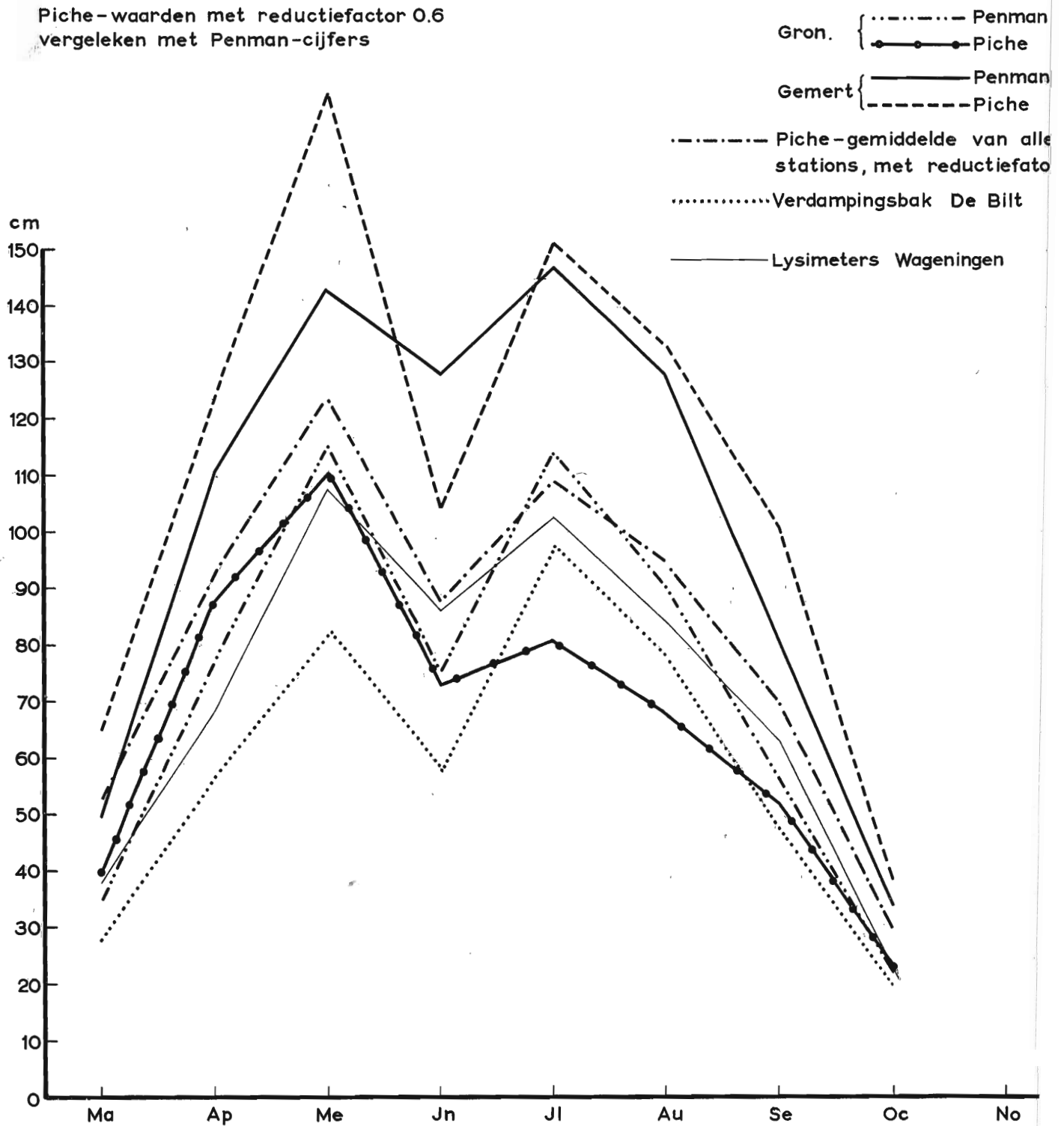


Fig.3

- 1) gemiddelde van de metingen te Roodeschool, Niekerk en Vlagtwedde.
- 2) metingen van Rottegatpolder.
- 3) geïnterpoleerd!

De reductiefactoren voor "Gemert" en voor "Groningen" bedragen resp. 0,55 en 0,66. Wanneer wij als gemiddelde reductiefactor voor Nederland $r = 0,6$ aannemen (d.w.z. stellen 1 cc uit Piche-evaporimeter = 0,6 mm verdamping volgens PENMAN), vinden wij de gemiddelde jaarsom over 1953 = ca 1190 cc = 714 mm. Dit lijkt nogal hoog; wij moeten evenwel bedenken dat dit getal geldt voor de potentiële evaporatie. Wanneer wij voor de verhouding tussen reële en potentiële verdamping de factor f van PENMAN invoeren en hiervoor de waarde $f = 0,8$ voor de zomermaanden en $f = 0,6$ voor de wintermaanden nemen, komen wij reeds beter uit, n.l. op circa 540 (resp. 528) mm per jaar. Toch is ook dit nog aan de hoge kant; de totale verdamping uit een open verdampingsbak te De Bilt in 1953 bedroeg 495,4 mm. Enkele overwegingen, besproken onder § 10.2 leiden eveneens tot de veronderstelling dat $r < 0,5$ moet zijn.

De waarde $r = 0,5$, verkregen door $r = 0,6$ te vermenigvuldigen met $f = 0,8$, is eveneens beter in overeenstemming met waarden die gevonden zijn bij onze eigen vergelijking tussen open verdampingsbak en Piche-evaporimeter. (vgl. R. III - 91 - 1952)

In de voorgaande tabel hebben wij ter vergelijking met de PENMAN-waarden op de Piche-cijfers van Gemert resp. "Groningen" de bijbehorende reductiefactoren 0,55 resp. 0,66 toegepast; in de grafiek (fig. 3) geven wij nog eens een vergelijking van de 4 uitkomsten, waarbij de Piche-waarden uniform met de reductiefactor $r = 0,6$ zijn vermenigvuldigd. Als vijfde curve is hier gegeven de jaarlijkse gang gemiddeld uit alle stations, eveneens met $r = 0,6$, tenslotte als zesde curve het gemiddelde van de verdamping uit 5 lysimeters te Wageningen (met toestemming van Drs. G.J. MAKKINK overgenomen uit zijn artikel: De berekening van de evapotranspiratie volgens PENMAN (te verschijnen in Landbouwkundig Tijdschrift)).

9 De grondwaterstanden

9.1 De maandgemiddelden voor de verschillende stations

"Regenval, verdamping, ondergrondse aan- en afvoer en de veranderingen in de watervoorraad zowel beneden het phreatisch vlak als daarboven, werken samen tot het instellen van een bepaalde grondwaterstand" aldus Ir W.C. VISSER in zijn rapport over het samenvatten en verklaren van reeksen grondwaterstandswaarnemingen.

T A B E L III (1)

Gemiddelde grondwaterstanden

		1933												1934					
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mrt.	Apr.	Mei.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
Gron.	Roedeschool	-	-	-	-	-	-	-	-	142	145 ^z	-	-	142	143	140	-	109	-
	Niekerk	-	-	-	-	-	-	-	93	113	137	162	170 ^z	124	137	153	159	122	149
	Vlagtwedde	-	-	-	-	-	-	70	81	111	116 ^z	84	88	70	94	103	104	74	112
	Ter Apel	-	-	-	-	-	-	111	117	137	123	-	126	119	146	153 ^z	122	105	127
	Doezum	-	-	-	-	-	-	-	58	82 ^z	72	67	78	49	65	65	62	54	-
Fr.	Joure	-	-	-	-	-	-	-	49	89	84	-	114 ^z	87	101	97	88	-	-
	Nieuw Beets	-	-	-	-	-	-	-	46	72	69	72	73 ^z	62	71	70	67	-	-
	Appelsga	-	-	-	-	-	-	-	43	79	84	107	111 ^z	79	101	110	-	-	-
	Gerredijk	-	-	-	-	-	-	-	38	43 ^z	29	-	39	18	30	23	20	17	33
Dr.	Roden	-	-	-	-	-	-	85	72	96	102 ^z	-	-	89	99	99	95	73	99
	Witteveen	-	103	53	59	69	44	85	66	150	132	125	153	127	161	176 ^z	162	80	160
	Zeelo	-	-	-	-	-	-	162	176	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gieterveen	-	-	-	-	-	-	105	103	132	121	127	129 ^z	102	123	120	113	-	-
Ov.	Giethoorn	-	84	81	83	84	78	93 ^z	88	93	89	90	88	80	80	81	81	-	-
	Rouveen	-	62	53	51	71	45	78	67	-	86	89	97 ^z	77	92	92	85	67	87
	Dedemsvaart	-	64	60	59	74	57	82	77	91	82	83	94	77	88	90	82	67	103
	Rheezerveen	-	91	49	41	47	29	50	52	82	92	-	104	95	-	-	116 ^z	-	84
	IJsselmidten	-	35	23	24	40	23	51	43	53 ^z	40	40	43	43	53 ^z	50	45	-	-
	Vroomsheep	-	-	25	27	36	20	43	46	78	94 ^z	51	42	41	49	50	44	32	50
	Weersele	-	-	-	-	-	-	-	-	158	169 ^z	-	148	142	-	-	-	-	-
Gld.	Heino	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	140	159	167	164	123	131
	Aalten	-	-	72	44	40	17	51	67	103	103	112	118	129	141	148 ^z	146	106	103
	Doetinchem	-	-	114	106	116	96	119	131	146	157	163	167	168	173	179 ^z	-	-	-
	Barneveld	-	-	53	40	60	36	82	70	119	121	147	149 ^z	114	122	127	111	-	-
	Veenendaal	-	-	-	-	22	7	40	38	77	85	96 ^z	91	66	77	75	59	31	49
	Tiel	-	-	-	-	-	107	140 ^z	184	-	192 ^z	155	163	-	-	-	-	-	-
Lechem	-	-	138	128	135	117	155	143	1150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* buis verplaatst.

z rechts boven: hoogste } maandwaarde uit de reeks van het betreffende station.
 . onder getal: laagste }

TABEL III (2)

1953
 1954
 Sep. Oct. Nov. Dec. Jan. Feb. Mrt. Apr. Mei. Jun. Jul. Aug. Sep. Oct. Nov. Dec. Jan. Feb.

r.	De Bilt	133	117	95	92	106	<u>84</u>	117	115	126	119	130	126	122	134 ^{xx}	134	131	112	123
	Zegveld Pr.	-	15	7	10	20	15	34	31	52	54	56 ^{xx}	51	37	47	45	35	22	30
	Loenen	103	89	82	<u>79</u>	94	81	101	94	104	100	104	105	100	105	108 ^{xx}	103	90	96
H.	Schagen	-	89	<u>63</u>	82	105	76	124	122	139	124	149 ^{xx}	148	136	140	138	135	98	127
	Aalsmeer	-	69	<u>64</u>	<u>61</u>	70	68	81	77	84	71	92	107 ^{xx}	85	83	80	78	70	78
H.	Lisse	62	61	<u>57</u>	59	71	63	78	71	86 ^{xx}	68	78	-	67	74	68	66	63	-
	Boskoop	57	37	<u>33</u>	35	45	-	59	49	66 ^{xx}	47	55	56	49	62	63	51	38	65
	Naaldwijk	55	36	<u>47</u>	<u>39</u>	46	41	72	68	74 ^{xx}	73	74 ^{xx}	67	65	67	67	71	60	-
	Oudorp	-	-	-	-	-	-	50	48	57	55	74 ^{xx}	71	61	56	53	53	-	-
I.	Kraayertpld.	-	-	-	-	89	<u>81</u>	107	105	134	149	162	160	149	156	163	165 ^{xx}	136	117
	Schoondijke	-	-	-	-	-	<u>92</u>	124	116	141	151	173	182	181	191	195	198 ^{xx}	180	159
	Axel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	197	-	182	-	-	-	166	159
B.	Klundert	-	-	-	-	-	-	-	-	66	53	68	76	71	88	96 ^{xx}	-	43	-
	Andel	-	-	-	-	-	-	-	97	116	108	112	115	116	124 ^{xx}	123	116	<u>92</u>	102
	Kessel	-	-	-	-	-	<u>6</u>	51	54	69	79	86	106	101	97	102	113 ^{xx}	77	83
	Gemert	-	-	-	-	44	<u>25</u>	53	68	98	102	110	120	130	136	138 ^{xx}	133	100	99
	Zundert	-	-	-	-	-	-	-	<u>68</u>	97	92	99	106	123	147	158	159 ^{xx}	132	136
	Rips	-	-	-	-	-	<u>61</u>	94	111	131	142	137	155	164	165	169	181 ^{xx}	152	-
	Capelle	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-	50	64	-	141 ^{xx}	141	-	136	-
	Hilvarenbeek	-	-	-	-	-	-	-	<u>38</u>	60	58	72	75	86	100	102 ^{xx}	-	54	50
	Maarheeze	-	-	-	-	-	-	<u>67</u>	72	94	94	-	-	111	121 ^{xx}	<u>118</u>	109	71	88
	Stamproy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177	197	196	208	224	234 ^{xx}	-	-	-
b.	IJsselstein	-	-	-	-	76	<u>40</u>	<u>72</u>	95	113	125	119	-	160	173 ^{xx}	-	-	168	156
	Weert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	218	-	256	266	272 ^{xx}	-	-

Het is duidelijk, dat de ondergrondse aan- of afvoer een storende invloed kan hebben wanneer het er om gaat de werking na te gaan, die door neerslag of verdamping, via de veranderingen in de watervoorraad boven het phreatisch vlak, op de grondwaterstand wordt uitgeoefend. In het bijzonder zal dat het geval zijn in die gebieden waar men door het opzetten resp. verlagen van het slootwaterpeil, dus middels inlaten of uitslaan van water, de grondwaterstand op een constant peil tracht te houden. De plaatsen waar dit het geval is zullen dus in 't algemeen minder geschikt zijn voor het nagaan van de invloed van neerslag en verdamping, althans zal er op gelet moeten worden dat géén kunstmatige peilveranderingen hebben plaats gehad tijdens die perioden waarin de invloed van neerslag resp. verdamping wordt nagegaan. Wij hebben getracht deze plaatsen te vinden door voor elk der gebruikte stations de maandgemiddelden van de grondwaterstand te berekenen. Hierbij blijkt inderdaad dat bij sommige stations een duidelijke jaarlijkse gang in het verloop van de grondwaterstand aanwezig is, terwijl bij sommige andere duidelijk aan de dag treedt dat het peil het jaar door vrijwel constant blijft. TABEL III geeft deze maandgemiddelden voor de diverse stations.

Uit de tabel blijkt dat op de meeste stations meer of minder duidelijk een jaarlijkse gang valt op te merken, waarbij de laagste waterstanden in de zomer voorkomen (de getallen geven de gem. afstand van grondwaterpeil tot bovenrand buis, dus het grootste getal betekent het laagste peil).

Op verschillende stations valt de laagste waterstand in de herfst van 1953 (deze herfst was zeer droog).

Het verschil (Δ) tussen hoogste en laagste maandgemiddelde is meestal van de orde van $\frac{1}{2}$ m tot ruim 1 m. Bij enkele stations blijkt echter duidelijk dat vrijwel geen verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen de verschillende maanden is op te merken; op deze plaatsen is blijkbaar kunstmatig een bepaald peil gehandhaafd. Zo bijv. vermoedelijk in Roodeschool (tot de winter), in N.Beets (na April), in Gorredijk, in Giethoorn, in Ijsselmuiden (althans ged. de zomer), in Loenen, in Lisse, Naaldwijk en Boskoop en in Andel. In 't algemeen liggen deze stations uiteraard in laagveen- of kleistreken met bemaling, of in de streek achter de duinen. Op de zandgronden in het Oosten vertoont de grondwaterspiegel veelal een veel duidelijker jaarlijkse gang, zie bijv. Witteveen, Aalten, Barneveld, Gemert, Zundert, De Rips, Ijsselstein.

10 De invloed van de neerslag en van de verdamping op de dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand

10.1 Algemene beschouwing

De voorafgaande §§. van het technisch gedeelte van dit rapport bevatten feitelijk slechts neven-resultaten van het onderzoek. Alvorens nu in te gaan op de quantitative gegevens met betrekking tot het eigenlijke deel, namelijk de invloed van resp. neerslag en verdamping op het grondwaterpeil, lijkt het gewenst in een algemene beschouwing de hierbij optredende moeilijkheden wat nader onder 't oog te zien.

Deze moeilijkheden zijn in drie categorieën te verdelen, namelijk

- a) de moeilijkheden, verbonden aan de bepaling van het verband tussen enerzijds de gemeten hoeveelheden neerslag resp. verdampt water en anderzijds de hoeveelheden water die werkelijk door de bodem worden opgenomen resp. aan de bodem worden onttrokken; = deze moeilijkheden zijn dus specifiek voor elk der twee besproken weerfactoren en vooral in 't geval van de verdamping bestaan hier belangrijke onzekerheden.
- b) de moeilijkheden, veroorzaakt door het feit dat neerslagwater en evaporatie-water niet onmiddellijk aan het grondwater worden toegevoerd resp. onttrokken, maar dat dit geschiedt via de boven het grondwater gelegen bodemlaag, hetgeen naast andere complicaties o.m. een vertraging van het effect ten opzichte van de oorzaak teweeg brengt.
- c) verdere complicaties ontstaan, doordat neerslag en verdamping niet de enige, en wellicht zelfs niet de belangrijkste factoren zijn, die de kortdurende fluctuaties van het grondwaterpeil veroorzaken.

Wij bespreken thans de genoemde drie groepen van moeilijkheden iets uitvoeriger.

10.1.1 Moeilijkheden bij de bepaling van de effectieve neerslag en de reële verdamping.

Over de specifieke moeilijkheden bij de bepaling van de effectieve neerslag kunnen wij kort zijn. Door allerlei oorzaken kan een discrepantie bestaan tussen de hoeveelheid neerslag die in de regenmeter wordt opgevangen en de hoeveelheid die werkelijk ("blijvend") door de grond wordt opgenomen. In de eerste plaats is de indicatie van de regenmeter slechts representatief voor een zeer beperkt gebied, terwijl de grondwaterstand waarschijnlijk zal reageren op de geïntegreerde neerslaghoeveelheid over een gebied van enige omvang. Verder kan de regenmeter in sommige gevallen een onjuiste aanwijzing geven

geven bijv. door minder gunstige opstelling (wind-invloeden). Ook geeft de regenmeter niet aan, welk gedeelte van de gevallen neerslag na korte tijd weer verdampt van de oppervlakken van de gewassen en uit de oppervlakkige lagen van de grond.

Tenslotte kunnen nog discrepanties ontstaan door bovengrondse afvloeiing van regenwater en door absorptie van dauw, mist e.d., die niet in de regenmeter worden gemeten. Over 't geheel genomen echter zullen deze oorzaken vermoedelijk geen zeer ernstige fouten opleveren.

Van ernstiger aard zijn de bezwaren die verbonden zijn aan het bepalen van de werkelijke verdamping. Wat gemeten wordt is namelijk een grootheid die evenredig is aan de potentiële evaporatie (de evenredigheidsfactor is bovendien nog onzeker, zoals hiervóór reeds is opgemerkt), terwijl de vochtvoorraad in de grond natuurlijk vermindert door de reële evapotranspiratie. Bekend is, dat de factor (f bij PENMAN) die de verhouding tussen reële en potentiële verdamping weergeeft, sterk afhankelijk is van de aard van het oppervlak en van de begroeiing, en daardoor o.a. variabel is in de tijd. Wij zouden hier dus feitelijk van geval tot geval met andere waarden moeten rekenen.

10.1.2 Moeilijkheden samenhangende met de toestand van de grond boven het grondwater.

Om deze moeilijkheden te analyseren, zullen wij wat nader moeten ingaan op de opbouw van de bodem in verband met haar waterhuishouding. Een bodempakket - bij beschouwing van de eigenschappen die in verband staan met de horizontale gelaagdheid ook wel als profiel aangeduid - bestaat uit aggregaten van vaste deeltjes, waartussen zich ruimten van zeer verschillende grootte en gedaante bevinden, die poriën worden genoemd. De wijze waarop de bodem als geheel uit vaste deeltjes en poriën is opgebouwd, duidt men aan met de term "structuur".

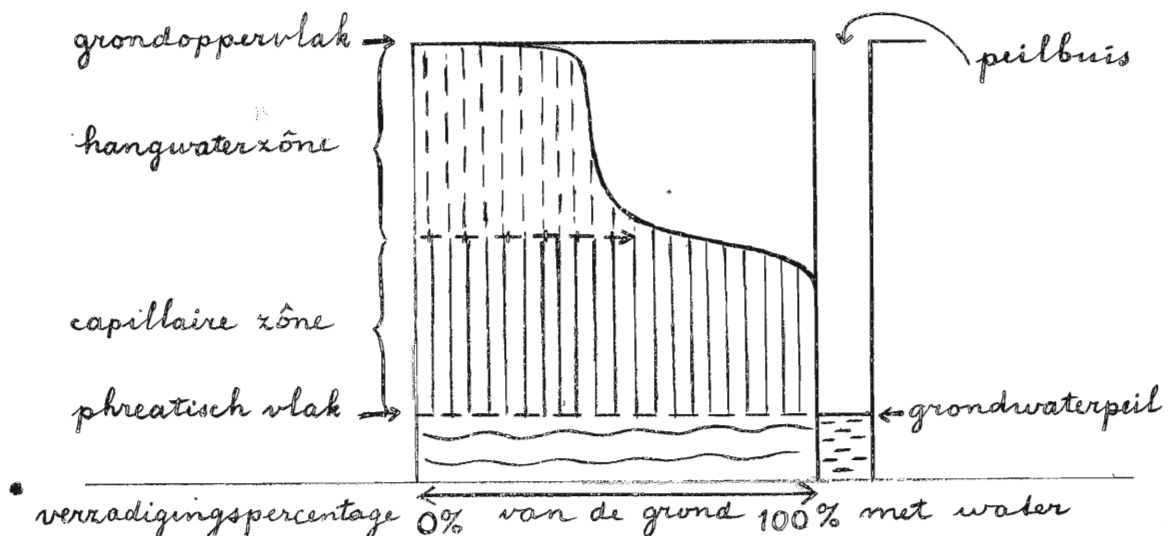
De poriën tussen de vaste deeltjes zijn gedeeltelijk met lucht en voor de rest met water gevuld, met dien verstande dat het aandeel van de lucht globaal gesproken naar beneden toe afneemt daar de zwaartekracht het water in de grond naar beneden doet zakken. Beneden een zekere diepte zijn alle poriën geheel met water gevuld. De hydrostatische druk van dit water wordt natuurlijk groter naarmate men in diepere lagen komt, tengevolge van de druk van het water in de er boven gelegen lagen. Een denkbeeldig vlak door de punten, waarin de hydrostatische druk van het grondwater gelijk is aan de atmosferische druk, wordt phreatisch vlak genoemd.

Graaft men een put of boort men een gat in de grond, dan vult dit zich met grondwater tot aan het niveau van het phreatisch vlak ter plaatse, doordat uit de poriën in de wand van het gat, die beneden dit niveau zijn gelegen, het grondwater ten gevolge van de hogere hydrostatische druk tegen de atmosferische druk in naar buiten wordt geperst.

In de laag boven het phreatisch vlak bevindt zich ook nog water in de poriën, doordat in deze nauwe holten capillaire opstijging van water plaats kan vinden. Daar de poriën niet alle dezelfde wijdte hebben, stijgt het water niet in alle holten even hoog en bevindt zich dus in deze z.g. capillaire zône naast water ook lucht in de poriën, en wel in toenemende mate naarmate men hoger boven het phreatisch vlak komt.

In een laag van zekere dikte, direct boven het phreatisch vlak gelegen, vindt men echter practisch uitsluitend nog water, de dikte van deze laag wordt bepaald door de wijdte der grofste poriën en hangt dus samen met de structuur van de grond. Daarboven komt een betrekkelijk dunne overgangslaag van deze capillaire zône naar de daarboven gelegen z.g. hangwaterzône. Ook in die lagen, die zo hoog boven het phreatisch vlak liggen, dat capillaire opstijging tot dit niveau niet meer kan plaats vinden, is namelijk nog enig water aanwezig, dat gebonden is aan de vaste grond-deeltjes en dat in deze lagen is achtergebleven na de doorsijpeling van neerslagwater, dan wel ten gevolge van voorafgaande hogere grondwaterstanden. Dit is het zogenaamde hangwater of pendulaire water; deze bovenste lagen van de grond noemt men dus de hangwaterzône.

In onderstaande figuur is een en ander schematisch weergegeven.



Door verdamping wordt via het grondoppervlak water aan de grond onttrokken. In eerste instantie gaat dit ten koste van het pendulaire water, dat hierdoor, en wel het allereerst in sterke mate in de allerbovenste laag, (korstvorming) sterk afneemt. Is het pendulaire water voor een groot deel verbruikt dan wordt ook het capillaire water aangesproken. Het verbruik hiervan wordt echter ten gevolge van de capillaire werking direct aangevuld doordat opnieuw grondwater in de capillaire zône wordt opgezogen, hetgeen leidt tot een daling van het phreatisch vlak. Het is dus wel duidelijk, dat verdamping en grondwaterdaling niet synchroon verlopen, daar eerst de watervoorraad boven het phreatisch vlak wordt aangesproken.

Een overeenkomstige vertraging treedt op, wanneer neerslag water aan de grond wordt toegevoerd. In eerste instantie wordt hierdoor ^{de}verzadigingsgraad van de bovenste lagen verhoogd, waarna doorsijpeling naar de diepere lagen plaats vindt en een effect op het grondwaterpeil kan ontstaan.

Bij de hele beschouwing is nog geen rekening gehouden met de functie van de plantenwortels ten aanzien van de vochthuishouding in de grond.

Waterverplaatsing in de vorm van damptransport ten gevolge van de temperatuurgradient is evenmin in aanmerking genomen.

10.1.3 Neerslag en verdamping niet de enige factoren, die het grondwaterpeil beïnvloeden.

Behalve de verdamping en de neerslag, die zoals gezegd is indirect en dus met vertraging het grondwaterpeil beïnvloeden, kan het lokale grondwaterpeil eveneens gewijzigd worden door ondergrondse laterale waterverplaatsing, hetzij door afvoer naar een naburige sloot of een lager gelegen gebied, hetzij door aanvoer vanuit een naburig hoger gelegen terrein. Deze bewegingen hangen op hun beurt weer samen met neerslag en verdamping elders, terwijl bovendien, bijvoorbeeld door verandering van het slootpeil, kunstmatige beïnvloeding kan plaats vinden.

Op grond van het bovenstaande zal het duidelijk zijn, dat er géén eenduidig en eenvoudig verband te verwachten is tussen het neerslag - c.q. verdampingsoverschot in een bepaalde korte periode en de daarmee gelijktijdig geconstateerde grondwaterpeilverandering.

7.
neerslag kan soms
zonde verhoging de
grondwaterstand
verhogen

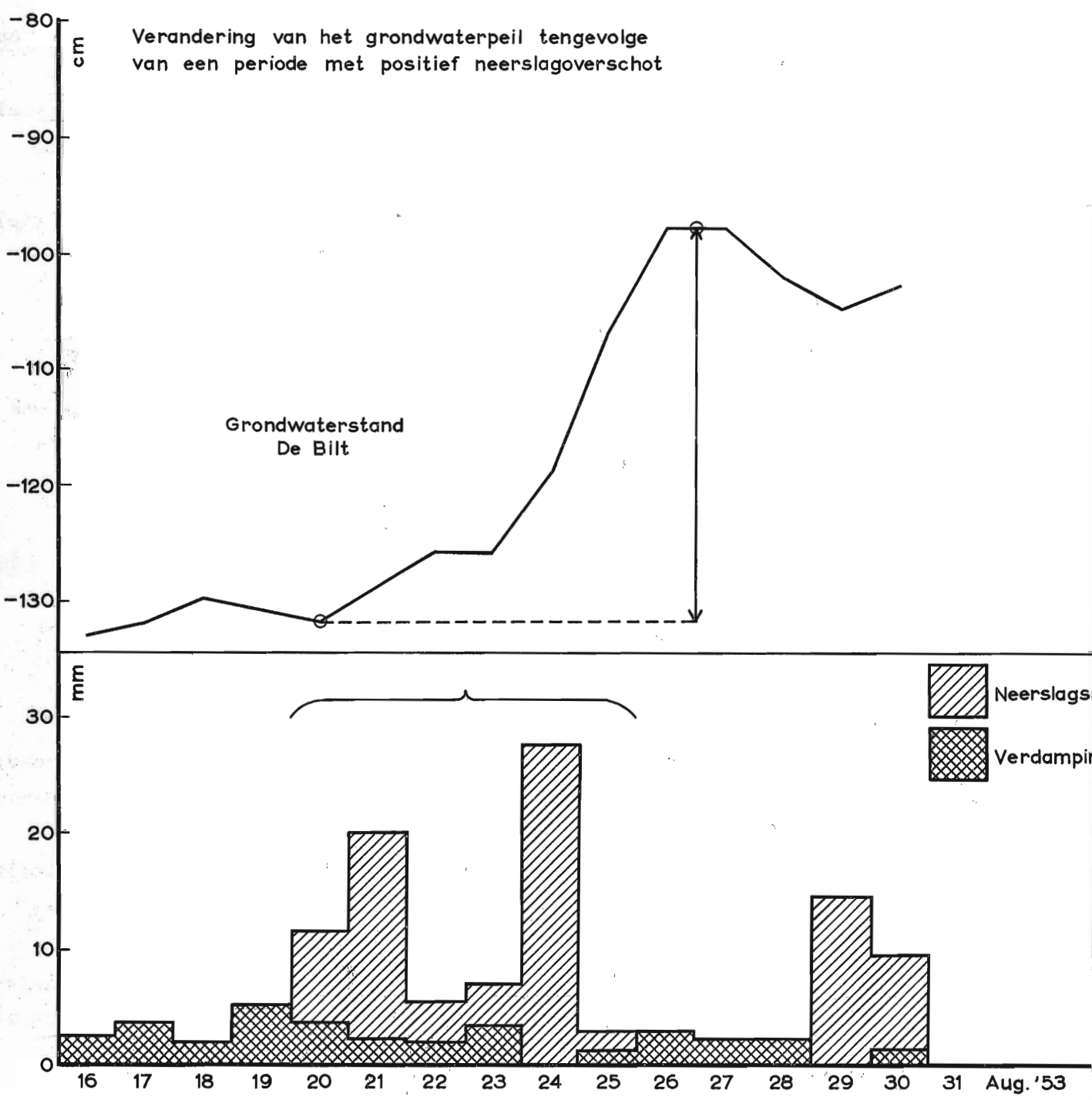


Fig. 4

Principieel reeds dáárom niet, omdat wij met neerslag, verdamping en grondwaterpeil slechts drie van de vijf componenten van de hydrologische balans beschouwen. Van de beide andere componenten, te weten de laterale verplaatsing en de watervoorraad boven het phreatisch niveau ontbreken ons de gegevens. Om het aandeel van deze laatste te kunnen beoordelen zouden wij moeten beschikken over gegevens omtrent de initialen en de finale vochtigheidstoestand van de pendulaire zône en de samenstelling en dikte van deze laag en voorts over gegevens omtrent de bergingscapaciteit en de capillaire opstijging in het beschouwde profiel. Voor de berekening van de ondergrondse afvoer resp. aanvoer bestaan verschillende formules; ook voor de toepassing hiervan ontbreken echter de benodigde gegevens.

De enige mogelijkheid die overblijft is, min of meer statistisch te werk te gaan en te trachten, het gehele complex van directe gegevens achteraf schattingen over de grootte van de verschillende factoren te maken. In het hier volgende wordt daartoe op enkele manieren een poging ondernomen.

10.2 De verwerking der gegevens

10.2.1 De invloed van de neerslag.

Neerslag veroorzaakt een stijging van het grondwaterpeil, die zoals wij zagen niet synchroon zal lopen met de neerslag zelf, doch een zekere vertraging zal vertonen. Het zuiverst zal dit zich aftekenen, wanneer wij een korte periode met betrekkelijk veel neerslag beschouwen, die tussen 2 droge perioden van voldoende lange duur is gelegen. Wij krijgen dan voor de neerslag en "daardoor veroorzaakte" grondwaterstandsverhoging een beeld als in nevenstaand voorbeeld (fig. 4) grafisch is weergegeven:

Na een droge periode van minstens 4 dagen, viel van 20 tot 25 Aug. te De Bilt in totaal 73,4 mm neerslag; in deze dagen verdampte in totaal 13,8 mm, het neerslagoverschot in deze 6 dagen bedroeg dus 59,6 mm; tengevolge hiervan steeg het grondwaterpeil van -132 cm op 20 Aug. tot -98 cm op 26 en 27 Augustus. De totale stijging die wij aan de 59,6 mm neerslagoverschot toeschrijven bedroeg dus 34 cm.

Op deze wijze zijn voor een aantal stations enige zo "zuiver" mogelijke gevallen uitgezocht van duidelijk gemarkeerde korte perioden met een niet al te klein neerslagoverschot, waarbij als daaraan toe te schrijven grondwaterstijging werd genomen het verschil tussen het le

maximum ná de periode en het laatste minimum vóór het eind van de periode.

De duur van de perioden bedraagt ca 3 tot 8 dagen. Het heeft géén zin, afzonderlijke dagen te beschouwen (anders dan in grote aantallen, dus op statistische basis), tenzij men één geïsoleerde dag met veel regen tussen 2 droge perioden zou hebben, wat bij de ter beschikking staande waarnemingen niet voorkwam.

Wij willen nu nagaan, in hoeverre het verband tussen de neerslag en de daardoor veroorzaakte grondwaterstijging uit te drukken is in karakteristieke constanten van de bodem.

Zij P = totale hoeveelheid neerslag in een korte periode,

E = totale verdamping in deze periode,

G_1 , resp. G_2 = niveau van het grondwater resp. vóór en ná de neerslagperiode,

V_s = volumedeel van de grond, ingenomen door water in geval de grond verzadigd is (bergingscapaciteit),

V_{c1} resp. V_{c2} = volumedelen van de grond in de laag boven het phreatisch vlak, ingenomen door water resp. vóór en ná de neerslagperiode.

Wij definiëren nu:

a) $P_{\text{eff}} = P - E$

P_{eff} is de effectieve neerslag of het neerslagoverschot. E werd berekend uit de Piche-gegevens, gebruik makende van de omrekeningsfactor $r = 0,6$.

b) $\Delta G = G_1 - G_2$ = de verandering van het grondwaterpeil tengevolge van de neerslag = de verandering van het phreatisch niveau.

c) $\Delta V_c = V_{c2} - V_{c1}$.

d) $Q = \frac{P_{\text{eff}}}{\Delta G}$ = de hoeveelheid effectieve neerslag die nodig is om een grondwaterstijging van 1 cm te veroorzaken.

Q zal, wanneer wij de laterale afvoer even buiten beschouwing laten, afhangen van de bodemgesteldheid, in 't bijzonder van het volumepercentage water in de verzadigde grond (V_s), m.a.w. van de bergingscapaciteit, en is als zodanig een plaatselijke constante. Bovendien zal Q echter afhankelijk zijn van de verandering van het vochtgehalte van de pendulaire laag en van de dikte van deze laag, dus van ΔV_c en van G .

Dus $Q = f (V_s, \Delta V_c, G)$.

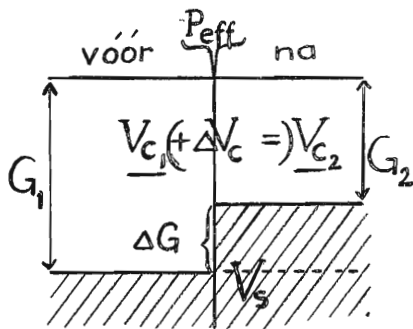
Zou $\Delta V_c = 0$ zijn, dan zou gelden

$$P_{eff} = \Delta G (V_s - V_c)$$

$$\text{of } Q = V_s - V_c$$

In werkelijkheid zal, tenzij uitgegaan wordt van zeer bijzondere omstandigheden, $\Delta V_c \neq 0$ zijn; aannemelijk is, dat de laag boven het phreatisch vlak na de regenval meer water bevat dan er voor. Een deel van P_{eff} zal dus gebruikt zijn om de grondlaag boven het phreatisch vlak vochtiger te maken.

Zij het volumedeel vocht in de supraphreatische laag toegenomen met ΔV_c , van (gemiddeld) V_{c1} tot (gemiddeld) V_{c2} , dan geldt de volgende relatie:



$$G_1 \cdot V_{c1} + P_{eff} = G_2 \cdot V_{c2} + \Delta G \cdot V_s \dots\dots 1)$$

of, volgens b) en c):

$$P_{eff} = \Delta G (V_s - V_{c1}) + G_2 \Delta V_c \dots\dots\dots 2)$$

of, volgens d)

$$Q = V_s - V_{c1} + G_2 \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta G} \dots\dots\dots 3)$$

Stellen wij $V_{c1} = q_1 \cdot V_s$ en $V_{c2} = q_2 \cdot V_s \dots\dots\dots e)$

dan gaat 3) over in

$$Q = V_s \left\{ 1 - q_1 + \frac{G_2}{\Delta G} (q_2 - q_1) \right\} \dots\dots\dots 4)$$

Nemen wij verder aan, dat na de regenperiode de bovengrond geheel verzadigd zou zijn (nog steeds uitgaande van de vooronderstelling van een homogene bodem) en dat nog juist geen afvloeiing optreedt, dan zou dus $q_2 = 1$ zijn en gaat 4) over in:

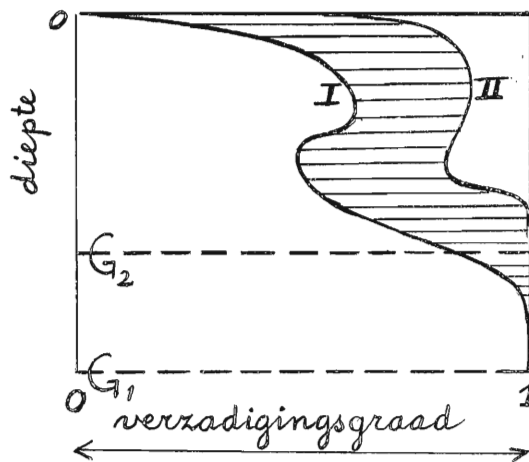
$$Q = V_s (1 - q_1) \cdot \frac{G_1}{\Delta G} \dots\dots\dots 5)$$

$$\text{of } \frac{P_{eff}}{G_1} = V_s (1 - q_1)$$

In dat geval zou Q dus recht evenredig zijn met de oorspronkelijke diepte van het phreatisch vlak.

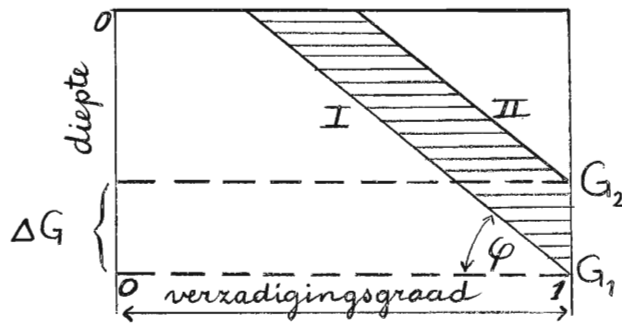
Dit laatste geval zal zich echter in 't algemeen na een betrekkelijk korte regenperiode niet voordoen. De werkelijke toestand zal in 't algemeen meer gecompliceerd zijn, nog afgezien van het feit dat ook veranderingen in de ondergrondse afvoer een reële rol zullen spelen.

Aan het hand van onderstaande figuur kan duidelijk gemaakt worden, van welke aard de variaties in het vochtgehalte van de boven-phreatische lagen kunnen zijn.



In deze grafiek is op de horizontale as uitgezet de verzadigingsgraad van de grond met water, lopend van 0 (volkomen droog) tot 1 (volkomen verzadigd). Op de verticale as is uitgezet de diepte; 0 is maaiveld, G_1 en G_2 zijn de diepten van het phreatisch niveau resp. vóór en na de regenperiode. De krommen I en II geven de vochtigheidstoestand van de bodem weer resp. vóór en na de regen. Beneden het phreatisch vlak is de verzadigingsgraad = 1, daarboven loopt ze terug, echter niet op regelmatige wijze: er kunnen allerlei bochten in de kromme zitten, die wijzen op onregelmatige verdeling van het pendulaire water (als gevolg van traagheidsverschijnselen). Het gearceerde gedeelte geeft dus weer de toename van de vochtigheidsgraad in de verschillende lagen als gevolg van de regen (zou vgl. 5 gelden, dan zou de kromme II met de rechter-rand van de figuur moeten samenvallen).

Bij het door ons behandelde waarnemingsmateriaal was van de gedaante der krommen I en II niets bekend. Om althans enig aangrijpingspunt te hebben voor verdere berekening, werd aanvankelijk van de volgende sterk vereenvoudigende onderstellingen uitgegaan:



Stel dat vanaf het phreatisch niveau naar boven toe de verzadigingsgraad van de grond lineair afneemt met de afstand tot dit niveau (bij een grond met een homogene bergingscapaciteit C , zoals wij steeds verondersteld hebben, geldt dit dan ook voor de volumefractie water per laag-eenheid), en wel per eenheid van afstand met een fractie x , dus $c \text{ of } \varphi = -x$.

Een eenvoudige berekening leert dan, dat voor de toename van de hoeveelheid water in de grond, dus voor P_{eff} geldt:

$$P_{\text{eff}} = \frac{1}{2} C x \cdot (G_1 + G_2) \cdot \Delta G \dots\dots\dots 7)$$

$$\text{of } \frac{Q}{G_{\text{gem}}} = C x \dots\dots\dots 8)$$

Onder deze vereenvoudigde voorwaarden zou dus het quotient van Q en de gemiddelde diepte van het phreatisch vlak vóór en na de regenval, constant moeten zijn.

Zoals reeds gezegd is, in de werkelijke toestand veel meer gecompliceerd.

Wanneer wij de te verwachten afwijkingen van de hier beschouwde geïdealiseerde voorstelling trachten te recapitulieren, komen wij tot de volgende:

- 1) het bodempakket is niet homogeen van structuur. De bergingscapaciteit en de capillaire werking zijn dus niet op alle niveau's gelijk,
- 2) het verloop van de vochtigheidsgraad met de diepte is niet lineair,
- 3) er is rekening te houden met een belangrijke vertraging in de waterbeweging in de grond ten opzichte van de meteorologische oorzaak - in dit geval neerslag - wat de berekening van het effect van kortdurende toe- of afvoeren compliceert,

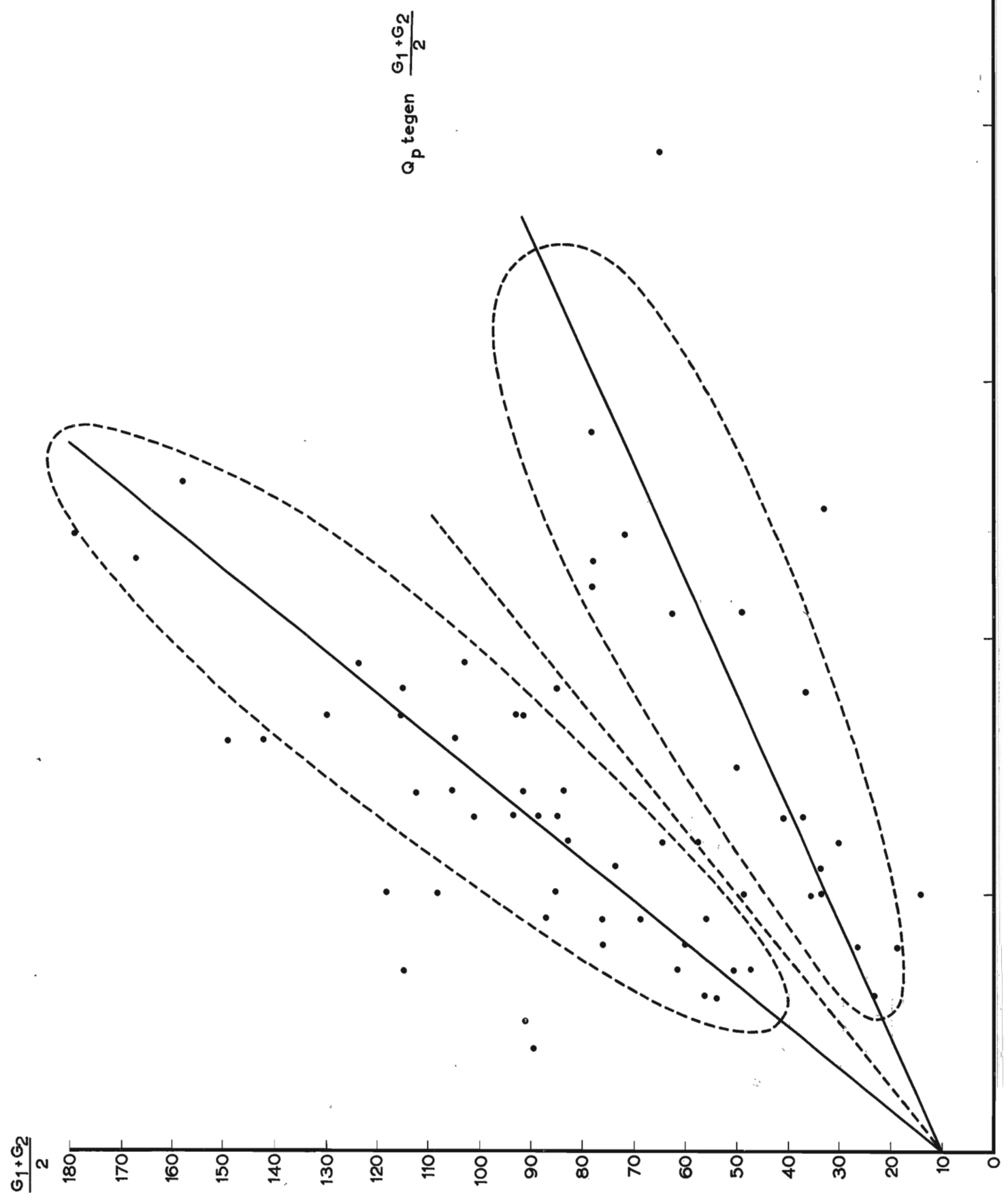


Fig. 5

- 4) de initiale en de finale vochtigheidsstoestand van de bodem is onbekend,
- 5) wij krijgen wellicht een betere benadering van de werkelijkheid, wanneer wij de hellende vochtgehaltelijnen I en II niet laten beginnen op het phreatisch niveau maar op een - voorshands onbekende - afstand er boven, dus aannemende dat tot een zekere hoogte boven het phreatisch vlak nog uitsluitend water in de poriën aanwezig is.

Voor de eerste vier moeilijkheden, die samenhangen met de locale situatie, is achteraf geen oplossing mogelijk. Voor de oplossing van de onder 5) genoemde moeilijkheid, het verschil tussen het grondwaterpeil en het niveau R, waarop het vochtgehalte van de grond begint terug te lopen, hebben wij getracht, langs statistische weg een aanwijzing te vinden.

$$\text{Vgl 8): } \frac{Q}{G_{\text{gem}}} = C \cdot x$$

moet dan overgaan in een vgl 8): $\frac{Q}{R_{\text{gem}}} = C \cdot x$ en wij kunnen proberen een zekere algemeen-toepasbare middelwaarde voor $A_{\text{gem}} = G_{\text{gem}} - R_{\text{gem}}$ te vinden, door de gevonden waarden van Q uit te zetten tegen de bijbehorende $\frac{G_1 + G_2}{2}$.

Indien $Q = C \cdot x \cdot R_{\text{gem}}$ en indien wij veronderstellen, dat C x voor een aantal gevallen een constante waarde heeft, krijgen wij, bij het uitzetten van Q op de x-as tegen R_{gem} op de y-as, een aantal punten op een rechte die door de oorsprong gaat. Vertoont C x voor de verschillende gevallen kleine afwijkingen van een constante waarde, dan krijgen wij een puntenwolk om een rechte door de oorsprong. Zetten wij dan echter Q uit tegen $G_{\text{gem}} = R_{\text{gem}} + A$, dan verschuiven wij a.h.w. de x-as van het coördinatenstelsel, waardoor de rechte niet langer door de oorsprong gaat, doch de y-as snijdt in een punt + A.

Wanneer wij dit uitvoeren met de voorhanden gegevens (figuur 5) zien wij, dat het mogelijk is, de puntverzameling grotendeels te splitsen in twee of drie groepen, waarvan de representerende rechten vrij nauwkeurig door het punt (0 + 10) gedacht kunnen worden, zodat wij met enige reden mogen zeggen:

$$G_{\text{gem}} - R_{\text{gem}} = 10 \text{ cm.}$$

TABEL IV (1)

Invloed neerslag op grondwaterpeil

Station	Periode	P	E	P _{eff}	G ₁	G ₂	ΔG	Q	R _{gem} = G _{gem} - 10	100 x Q R _{gem}
		in mm	in mm	in mm	in	cm	in cm			
Roodeschool Niekerk Vlagtwedde Ter Apel Doezum Joure Nieuw Beets Appelsga Gorredijk Roden Witteveen	13-16 X	24.1	1.7	22.4	116	63	53	0.42	79.5	0.53
Giethoorn	4-6 X	16.4	2.7	13.7	81	75	6	2.28	68	3.35
Rouveen	4-8 X	18.2	3.1	15.1	64	51	13	1.16	47.5	2.44
Dedemsvaart	14-17 X	21.5	2.5	19.0	67	58	9	2.11	52.5	4.02
Rheezerveen	13-16 X	25.5	2.6	22.9	98	85	13	1.76	81.5	2.16
IJsselmuiden Vroomsheep	13-16 X	16.6	2.6	14.0	40	26	14	1.00	23.0	4.35
Barneveld Veenendaal Tiel										
De Bilt	13-17 X	18.5	1.2	17.3	120	110	10	1.73	105.0	1.65
Zegveld	13-16 X	18.9	2.1	16.8	22	5	17	0.98	3.5	-
Loenen	13-16 X	22.7	0.9	21.8	91	79	12	1.82	75	2.43
Schagen	13-16 X	11.9	1.4	10.5	90	80	10	1.05	75	1.40
Lisse	13-16 X	19.5	5.9	13.6	68	51	17	0.80	49.5	1.62
Boskoop	13-16 X	23.4	0.3	23.1	43	30	13	1.77	26.5	6.68
Naaldwijk Ouddorp	13-16 X	28.1	1.7	26.4	38	27	11	2.40	22.5	10.7

afvloe

TABEL IV (2)

Invloed neerslag op grondwaterpeil

Locatie	Periode	P	E		P _{eff}	G ₁	G ₂	ΔG	Q	R _{gem}	100 x $\frac{Q}{R_{gem}}$
			in mm									in cm
deschool	1-5 IV	36.4	4.7	31.7	123	59	64	0.50	81	0.62	
kerk	1-7 IV	45.7	6.9	38.8	100	69	31	1.25	74.5	1.68	
gtwedde	3-7 IV	17.3	4.9	12.4	79	68	11	1.13	63.5	1.78	
Apel											
zum	1-4 IV	28.8	6.1	22.7	54	43	11	2.06	38.5	5.35	
re	1-4 IV	31.9	4.1	27.8	43	10	33	0.84	16.5	5.09	
uw Beets	1-7 IV	46.9	2.5	44.4	54	20	34	1.31	27.0	4.85	
elsga											
redijk											
en											
teveen	1-4 IV	26.5	6.5	20.0	64	37	27	0.74	40.5	1.82	
hoorn	3-7 IV	46.1	3.1	43.0	88	68	20	2.15	68.0	3.16	
en	2-7 IV	52.0	6.7	45.3	81	30	51	0.89	45.5	1.96	
msvaart	2-7 IV	35.0	7.0	28.0	91	61	30	0.93	66.0	1.41	
zerveen	2-4 IV	18.7	3.7	15.0	58	36	22	0.68	37.0	1.84	
selmuiden	2-7 IV	38.0	6.4	31.6	51	19	32	0.99	25	3.96	
amshoop											
neveld	2-5 IV	35.3	4.3	31.0	80	29	51	0.61	44.5	1.37	
nendaal	2-5 IV	34.0	4.4	29.6	46	0					
l	1-5 IV	32.0	5.0	27.0	195	180	15	1.80	177.5	1.01	
Bilt	2-7 IV	33.9	8.5	25.4	122	101	21	1.21	101.5	1.19	
veld	2-4 IV	34.0	2.9	31.1	37	0					
en	1-4 IV	35.0	1.7	33.3	105	69	36	0.93	77.0	1.21	
agen	1-4 IV	24.3	4.0	20.3	130	100	30	0.68	105.0	0.65	
se	1-4 IV	26.3	7.8	18.5	75	48	27	0.61	51.5	1.19	
coop	1-4 IV	35.2	4.6	30.6	64	33	31	0.99	38.5	2.57	
ldwijk	1-4 IV	27.7	6.0	21.7	76	67	9	2.41	61.5	3.92	
lorp	1-4 IV	28.9	4.9	24.0	50	31	19	1.26	30.5	4.13	
uyertpld.	3-4 IV	33.5	3.4	30.1	113	90	23	1.30	91.5	1.42	
ondijke	3-4 IV	31.9	4.8	27.1	132	105	27	1.00	108.5	0.92	
ndert											
l	2-7 IV	40.1	4.1	36.0	104	79	25	1.44	81.5	1.77	
el											
rt											
lert	1-4 IV	29.8	6.7	23.1	75	37	38	0.61	46	1.33	

(afvloeiing)

(afvloeiing)

TABEL IV (3)

Involed neerslag op grondwaterpeil

Station	Periode	P	E	P _{eff}	G ₁	G ₂	ΔG	Q	R _{gem}	100 x
										R _{gem}
			in mm	in cm						
deschool										
kerk	20-27 VIII	79.6	4.8	74.8	184	151	33	2.27	157.5	1.44
agtweede	20-27 VIII	93.5	4.9	88.6	119	46	73	1.21	72.5	1.68
r Apel	20-25 VIII	62.4	5.0	57.4	147	113	34	1.69	120.0	1.41
ezum	20-25 VIII	63.4	3.4	60.0	109	43	66	0.91	66.0	1.38
ure	20-26 VIII	58.8	8.3	50.5	130	94	36	1.40	102.	1.37
euw Beets	20-27 VIII	57.0	10.3	46.7	78	67	11	4.25	62.5	6.80
pelsga	23-27 VIII	66.5	6.5	60.0	117	70	47	1.28	83.5	1.53
rredijk										
den	20-26 VIII	77.4	6.4	71.0	128	82	46	1.54	95.0	1.62
teveen	20-26 VIII	72.8	6.8	66.0	171	146	25	2.64	148.5	1.78
thoorn	20-25 VIII	91.4	6.4	85.0	93	63	30	2.83	68.0	4.16
veen	20-26 VIII	78.6	5.8	72.8	116	61	55	1.32	78.5	1.69
msvaart	20-25 VIII	53.8	9.2	44.6	106	79	27	1.65	82.5	2.00
zerveen	20-26 VIII	63.1	7.9	55.2	118	88	30	1.84	93.0	1.98
selmuiden	20-25 VIII	67.3	4.8	62.5	56	3	53	1.18	19.5	6.05
omshoop	20-26 VIII	56.9	8.9	48.0	50	28	22	2.18	29.0	7.52
neveld										
nendaal	20-26 VIII	81.8	7.6	74.2	110	57	53	1.40	73.5	1.90
l										
Bilt	20-26 VIII	73.4	13.8	59.6	132	98	34	1.75	105.0	1.67
veld	20-25 VIII	72.0	9.9	62.1	61	6	55	1.13	23.5	4.81
nen	20-26 VIII	72.6	7.6	65.0	113	85	28	2.32	89.0	2.61
agen	20-26 VIII	53.5	8.6	54.9	159	125	34	1.61	132.0	1.22
se										
koop	20-25 VIII	67.5	7.5	60.0	70	29	41	1.46	39.5	3.70
dwijk	20-25 VIII	67.0	13.0	54.0	72	58	14	3.86	55.0	7.02
lorp	20-25 VIII	62.2	9.8	52.4	85	43	42	1.25	54.0	2.31
ayertpld.	20-26 VIII	90.3	8.3	82.0	174	124	50	1.64	139.0	1.18
oondijke	20-25 VIII	74.0	8.6	65.4	193	166	27	2.42	169.5	1.43
l	20-26 VIII	76.8	10.8	66.0	200	154	46	1.43	167	0.86
ndert	20-25 VIII	67.0	5.1	61.9	104	33	71	0.87	58.5	1.49
el	20-26 VIII	73.5	4.0	69.5	129	81	48	1.45	95.0	1.53
el	20-26 VIII	84.3	9.3	75.0	113	102	11	6.82	97.5	7.00
ert	20-27 VIII	38.0	17.5	20.5	129	118	11	1.86	113.5	1.64
dert	20-26 VIII	48.6	9.7	38.9	127	89	38	1.02	98.0	1.04

(afvloeiing)

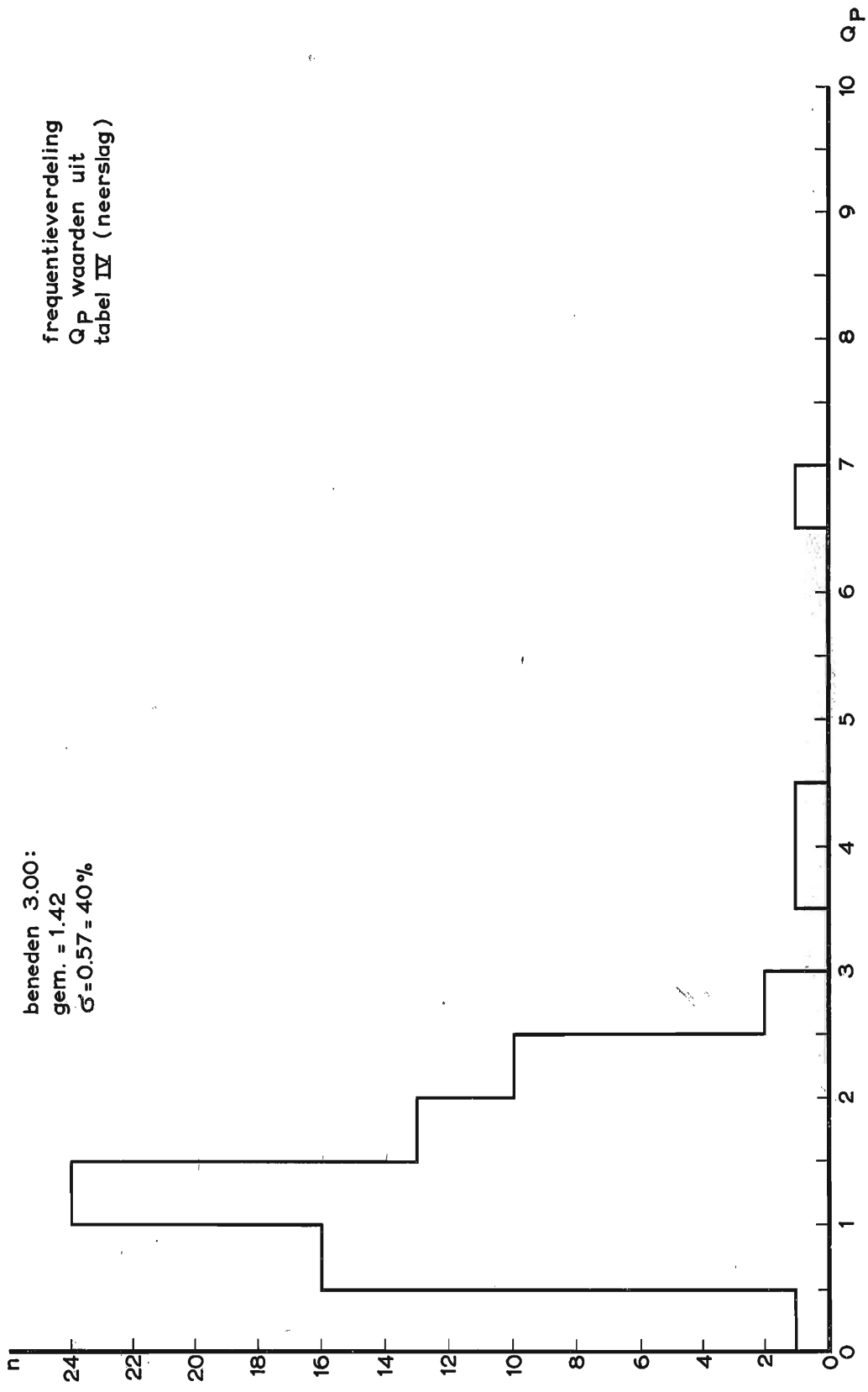


Fig.6

Ten opzichte van de waarschijnlijke gemiddelde capillaire stijghoogte (van 10 tot 30 cm in zandgronden, tot 80 à 90 cm in zware kleigronden) is deze waarde laag; wij kunnen dus A niet zonder meer als representant van de capillaire opstijging opvatten.

In de tabel IV hebben wij voor een aantal stations en voor een drietal regenperioden, resp. in October 1952, April 1953 en Augustus 1953, de gegevens over neerslag en daarmee gepaard gaande verandering van het grondwaterpeil opgenomen. Hieruit is voor ieder geval de Q berekend. Q is opgegeven in mm/cm.

In fig. 6 is een frequentieverdeling van de (in totaal 69) berekende Q-waarden gegeven. Met enkele uitzonderingen geldt $Q < 3$. Deze uitzonderingen buiten beschouwing latende, berekenen wij $Q_{gem.} = 1,42$.

Dit wil dus zeggen: gemiddeld is 1,4 mm neerslag nodig voor een verhoging van het grondwaterpeil met 1 cm. VISSER vindt (t.a.p. pag 8), dat over een langere periode geldt: $0 = 0,94 W + 1,41 \Delta W$; in onze terminologie overgezet: $P_{eff} = 0,94 f(G) + 1,41 \Delta G$. Hierin is $f(G)$ een term die betrekking heeft op de ondergrondse afvoer. Wanneer wij aannemen dat wij deze in de door ons beschouwde korte perioden mogen verwaarlozen, wordt $f(G) = 0$ en blijft $Q = \frac{P_{eff}}{\Delta G} = 1,41$ wat zeer goed overeenstemt met onze gemiddelde waarde $Q = 1,42$!

Bij vergelijking van de drie perioden valt op, dat Q in April gemiddeld lager is dan Q in Augustus. (De October-periode is buiten beschouwing gelaten wegens het geringe aantal medewerkende stations). Het is twijfelachtig of het verschil significant mag heten, doch er ligt wellicht een aanwijzing in, dat de grondwaterstand in April sterker reageerde op neerslag dan in Augustus, omdat in laatstgenoemde maand de laag boven het phreatisch vlak aanvankelijk droger was en dus een grotere portie van het neerslag=overschot heeft opgenomen.

Zoals reeds gezegd is, is een lineair verband tussen Q en de gemiddelde diepte van het grondwaterpeil zeer aanvechtbaar, want alleen onder zeer geïdealiseerde condities te handhaven. Niettemin blijkt bij berekening van de quotiënten $\frac{Q}{R_{gem}}$, waarbij voor R_{gem} steeds ge-

nomen is $\frac{G_1 + G_2}{2} = 10$ cm, dat de verzameling van deze quotiënten in

zeker opzicht méér homogeen is dan de verzameling der Q-waarden.

Vergelijken wij de bovengenoemde frequentieverdeling der Q-waarden met die van de quotiënten

$$\frac{200 Q}{R_1 + R_2} = \frac{200 Q}{G_1 + G_2 = 20}, \text{ dan blijkt de laatste frequentieverdeling méér-}$$

toppie

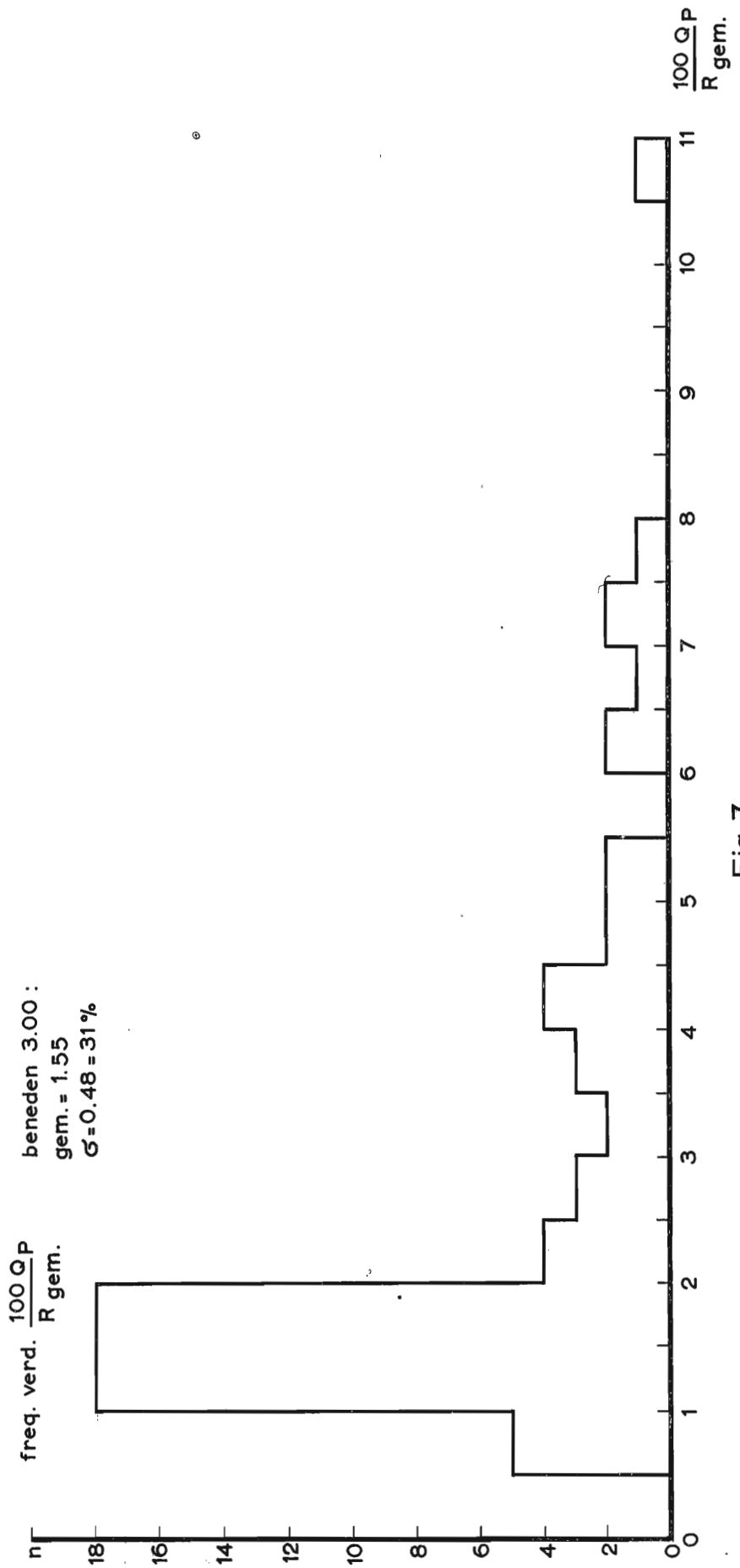


Fig. 7

toppig te zijn (zie fig. 7), met maxima bij ca 1,5, bij 4 en bij 7. Snijden wij echter in beide frequentieverdelingen de waarden boven 3 af, (dit treft slechts een klein percentage van het totale aantal gevallen) dan blijft voor het laagste gedeelte over:

voor freq. Q: $n = 66$, $\bar{Q} = 1,42$; $\sigma = 0,57 = \underline{40\%}$

voor freq. $\frac{200 Q}{R_1+R_2}$: $n = 48$, $\frac{200 \bar{Q}}{R_1+R_2} = 1,55$; $\sigma = 0,48 = \underline{31\%}$

De spreiding is bij de laatste verzameling dus belangrijk geringer.

Het watergehalte in de laag boven het phreatisch vlak is uiteraard variabel met de tijd. De bodemstructuur is evenwel een plaatselijke constante. Onder gelijkblijvende vochtigheidsomstandigheden moet Q/R_{gem} voor dezelfde plaats in verschillende tijden dus gelijk zijn. Hiervan zijn enkele voorbeelden in de tabel te vinden; gezien het gering aantal perioden (maximaal slechts 3) is het echter zeer de vraag, in hoeverre dit toevallig is. Slechts na uitbreiding van het waarnemingsmateriaal zal dit te beantwoorden zijn. De bedoelde voorbeelden zijn:

	Periode I		Periode II		Periode III	
	Q/R	Q				
Vlagtwedde			1.78	$\sqrt{1.13}$	1.68	$\sqrt{1.21}$
Witteveen	(0.53)	$\sqrt{0.42}$	1.82	$\sqrt{0.74}$	1.78	$\sqrt{2.64}$
Rheezerveen	2.16	$\sqrt{1.76}$	1.84	$\sqrt{0.68}$	1.98	$\sqrt{1.84}$
De Bilt	1.65	$\sqrt{1.73}$	(1.19)	$\sqrt{1.21}$	1.67	$\sqrt{1.25}$
Schagen	1.40	$\sqrt{1.05}$	"		1.22	$\sqrt{1.61}$

De Q-waarden (tussen $\sqrt{\quad}$) zijn in 't algemeen veel minder cohaerent.

10.2.2 De invloed van de verdamping.

Wij hebben getracht, de invloed van de verdamping op de grondwaterstand op analoge wijze na te gaan als dit voor de invloed van de neerslag werd beschreven in § 10.2.1. Als gevolg van de verdamping moet het grondwaterpeil dalen. De keus van de perioden is hier lastiger dan bij de neerslag, omdat dit laatste verschijnsel veel meer discontinu in de tijd is en men dus gemakkelijker markante effecten van scherp begrensde korte perioden met betrekkelijk groot positief neerslagoverschot kan onderscheiden, dan effecten van bepaalde perioden met verdampingsoverschot.

Met het oog op de vergelijkbaarheid der uitkomsten leek het ons gewenst, te zoeken naar perioden van ongeveer even lange duur als de hiervóór beschouwde neerslagperioden (dus van de orde van 4 à 8 dagen), waarbij het verdampingsoverschot liefst van de zelfde orde van grootte moest zijn als de neerslagoverschotten in de vorige paragraaf. Dit betekende, dat gezocht moest worden naar perioden met vrij sterke verdamping. Daar bovendien de initiale vochtigheidstoestand van de laag boven het phreatisch niveau als zeer belangrijk voor het effect werd beschouwd, moest er naar gestreefd worden de condities in dit opzicht zoveel mogelijk overeenkomstig te krijgen; wij hebben daarom uitsluitend perioden gekozen die niet onmiddellijk op neerslagperioden volgden, doch die werden voorafgegaan door voldoende lange perioden waarin de verdamping reeds duidelijk overheerste. Ook mocht de beschouwde periode niet direct gevolgd worden door een neerslagperiode, omdat in dit geval het (onbekende) phaseverschil tussen verdamping en peilfluctuatie moeilijkheden zou kunnen veroorzaken.

Op basis van deze voorwaarden zijn een viertal perioden gekozen (voor alle stations dezelfde, omdat in tegenstelling tot neerslag-situaties, situaties ^{met} sterke verdamping in de regel voor het hele land gelden), n.l. 17 - 25 April, 1 - 6 Mei, 7 - 14 Augustus en 10 - 20 October 1953.

De schatting van de reële verdamping uit de Piche-cijfers is als volgt uitgevoerd:

Gevonden was als gemiddelde omrekeningsfactor van Piche-cijfers (in cc) op mm potentiële verdamping, (vgl. § 8.5): $r = 0,6$.

De factor f die de verhouding tussen reële en potentiële verdamping aangeeft varieert volgens PENMAN van 0,6 in de winter tot 0,8 in de zomer; daar de beschouwde perioden overwegend in het zomerhalfjaar liggen, kozen wij $f = 0,8$. Derhalve werd gerekend met een omrekeningsfactor $r' = 0,6 \times 0,8 = 0,5$, d.w.z. 1 cc (Piche) = 0,5 mm verdamping.

Bovendien is nog gereduceerd van de locale afwijking voor de betreffende maand op de gemiddelde regionale afwijking.

Bijvoorbeeld: had een station X, in een der noordelijke provincies gelegen, in de maand April 1953 een procentuele afwijking van $-p\%$, terwijl de gem. regionale afwijking voor de noordelijke provincies -14% bedraagt, dan werd het tussen 17 en 25 April op het station X gemeten aantal mm verdamping vermenigvuldigd met een factor $\frac{100-14}{100-p}$.

TABEL V (1)

Invloed verdamping op grondwaterpeil

17 - 25 APRIL 1953

Station	P in mm	E gemeten ($r=0.5$)	E gereduceerd (in mm)	$\frac{G_1+G_2}{2}$	ΔG (in cm)	Q	R = $\bar{G} - 30$	$\frac{100}{R}$
Roodeschool	0.4	23.8	21.4	118	15	1.43	88	1.6
Niekerk	0	26.3	26.6	99	10	2.66	69	3.8
Vlagtwedde	0.6	29.1	24.2	113	8	3.02	83	3.0
Ter Apel	0	33.7	26.4	121	9	2.93	91	3.0
Doezum	0	23.8	24.0	64	22	1.09	34	3.0
Joure	0.5	31.2	28.0	69	18	1.56	39	4.0
Nieuw Beets	0.4	24.7	30.1	53	17	1.77	23	7.0
Appelsga	1.3	20.0	22.3	57	14	1.59	27	5.0
Gorredijk	0.7	21.8	22.0	44	20	1.10	14	7.0
Roden	0	25.1	24.3	80	11	2.21	50	4.0
Witteveen	0.7	33.7	29.6	79	63	0.47	49	0.0
Giethoorn								
Rouveen	0.1	27.8	26.0	75	14	1.86	45	4.0
Dedemsvaart	0.1	47.0	44.9	90	24	1.87	60	3.0
Rheezerveen								
IJsselmuiden	0	39.7	31.8	91	10	3.18	61	5.0
Vroomshoop	0.4	31.4	31.0	52	7	4.43	22	20.0
Weerselo								
Doetinchem								
Barneveld	0	33.3	33.3	80	32	1.04	50	2.0
Veenendaal	0	33.8	33.8	50	20	1.69	20	8.0
Tiel								
De Bilt	0	37.4	37.4	118	10	3.74	88	4.0
Zegveld Pr. Loenen	0.2	26.6	27.8	36	19	1.46	6	24.0
Schagen	0	31.4	31.4	129	7	4.49	99	4.0
Lisse								
Boskoop	0.4	33.0	29.9	52	13	2.30	22	10.0
Naaldwijk								
Oudderp	2.9	27.2	31.9	53	10	3.19	23	13.0
Kraayertpld.	2.8	27.6	23.4	110	15	1.56	80	1.0
Schoondijke Axel	2.9	55.2	43.8	120	10	4.38	90	4.0
Klundert								
Andel	0.1	31.9	33.5	102	10	3.35	72	4.0
Kessel Gemert								
Zundert	0.2	24.5	24.3	41	8	3.04	11	27.0
Rips	0	27.7	34.6	116	7	4.94	86	5.0
Stamproy IJsselstein	0	32.5	34.2	99	5			

TABEL V (2)

Invloed verdamping op grondwaterpeil

6 MEI 1953

Station	P	E gemeten ($r=0.5$)	E gereduceerd (in mm)	$\frac{G_1+G_2}{2}$	ΔG (in cm)	Q	R_{gem} $=G-30$	$\frac{100 Q}{R}$
deschool	0	15.3	16.1	133	3	5.37	103	5.21
kerk	0	17.0	16.4	111	6	2.73	71	3.84
gtwedde	0.3	24.6	21.3	99	6	3.55	69	5.15
Apel	0.2	25.8	19.3	129	5	3.86	99	3.90
zum	0	16.3	17.1	68	13	1.32	38	3.47
re	0.2	18.5	18.5	76	22	0.84	46	1.83
uw Beets								
elsga	0	13.3	18.1	62	14	1.30	32	4.06
redijk	0.2	15.4	15.2 ³	34	12	1.27	4	-
en	0	15.9	15.9	85	11	1.45	55	2.64
teveen	0.6	22.7	19.1	123	49		93	-
thoern								
veen								
emsvaart								
ezerveen								
selmiden								
omshoop								
rselo								
tinchem								
neveld	0	22.6	24.5	103	16	1.53	73	2.10
nendaal	0	24.9	24.0	66	9	2.67	36	7.42
l	0	27.4	24.0	186	4	6.00	156	3.85
Bilt	0.2	23.1	25.6	-	0	-		
veld Pr.	0	22.1	23.7	42	10	2.37	12	19.75
nen								
agen	0	19.5	19.5	135	4	4.88	105	4.65
se	0.1	25.3	26.4	82	7	3.77	52	7.25
koop	0.3	25.2	22.0	60	5	4.40	30	14.67
ldwijk	2.0	23.8	23.7	69	3	7.90	39	20.26
derp	0.4	14.3	17.0	55	5	3.40	25	13.60
ayertpld	1.0	17.3	17.4	125	5	3.48	95	3.66
oondijke	0.4	31.1	30.0	134	5	6.00	104	5.77
l								
ndert								
el	0.6	21.8	19.8	108	4	4.95	78	6.35
sel	0	21.6	21.8	63	4	5.45	33	16.52
ert	0	33.1	27.6	84	10	2.76	54	5.11
dert	1.5	24.2	22.7	83	9	2.52	53	4.75
s	0	15.4	21.7	120	4	5.43	90	6.03
mproy								
welstein	0.1	28.8	24.1	106	3	8.03	76	10.57

TABEL V (3)

Invloed verdamping op grondwaterpeil

7 - 14 AUG. 1953

Station	P	E gemeten ($r=0.5$)	E gereduceerd (in mm)	$\frac{G_1+G_2}{2}$	ΔG (in cm)	Q	\bar{R}_{gem} = $\bar{G}-30$	$\frac{100}{R}$
Roodeschool								
Niekerk	0	28.1	31.0	174	7	4.43	144	3.0
Vlagtwedde	1.3	20.8	27.7	98	16	1.73	68	2.5
Ter Apel	0	38.9	33.8	131	13	2.60	101	2.5
Doezum	0	25.6	29.4	90	19	1.55	60	2.5
Joure	2.3	34.9	25.5	121	6	4.25	91	4.0
Nieuw Beets	0	22.8	23.6	74	5	4.72	44	10.7
Appelsga	0	24.9	29.0	125	11	2.64	95	2.7
Gorredijk	0.2	32.3	29.4	57	20	1.47	27	5.2
Roden								
Witteveen	0	35.2	30.5	163	7	4.36	133	3.0
Giethoorn	0	29.8	27.6	94	10	2.76	64	4.3
Rouveen	0	29.8	28.0	111	9	3.11	81	3.8
Dedemsvaart	0	30.2	27.6	103	12	2.30	73	3.7
Rheezerveen	0	31.1	29.5	107	10	2.95	77	3.8
IJsselmuiden	0	35.3	29.7	53	4	-	-	-
Vroomshoop	0	33.2	30.4	47	13	2.34	17	13.7
Weerselo	0	36.3	29.0	150	11	2.64	120	2.2
Doetinchem								
Barneveld	0	34.7	34.4	159	9	3.82	129	2.9
Veenendaal	0	28.2	33.0	100	13	2.54	70	3.6
Tiel	0	29.3	32.2	157	10	3.22	127	2.9
De Bilt	0	33.3	32.0	138	7	4.57	108	4.0
Zegveld Pr.	0.1	26.8	26.8	64	5	5.36	34	15.7
Leenen	0	22.1	29.3	109	4	7.32	79	9.2
Schagen	0	31.7	30.5	154	8	3.81	124	3.0
Lisse	0	34.9	28.9	84	6	4.82	54	8.9
Boskoop	0.3	31.8	33.2	67	6	5.53	37	14.9
Naaldwijk	0	36.3	31.4	71	4	-	41	14.9
Ouddorp	0	25.1	30.0	79	9	3.33	49	6.8
Kraayertpld.	0	29.5	30.0	167	8	3.75	137	2.7
Schoondijke	0	33.2	30.9	185	5	6.02	155	3.8
Axel								
Klundert	0.1	24.8	29.4	85	17	1.73	55	3.1
Andel	0	28.0	29.0	123	10	2.90	93	3.1
Kessel	0	43.5	34.8	108	4	-	78	-
Gemert	0	41.3	35.4	120	11	3.22	90	3.9
Zundert	0	30.1	27.7	110	22	1.26	80	1.9
Rips	0	18.8	25.5	151	3	-	121	-
Stamproy	0	31.6	33.6	192	8	4.20	162	2.9
IJsselstein	0	35.3	35.3	140	5	7.06	110	6.2

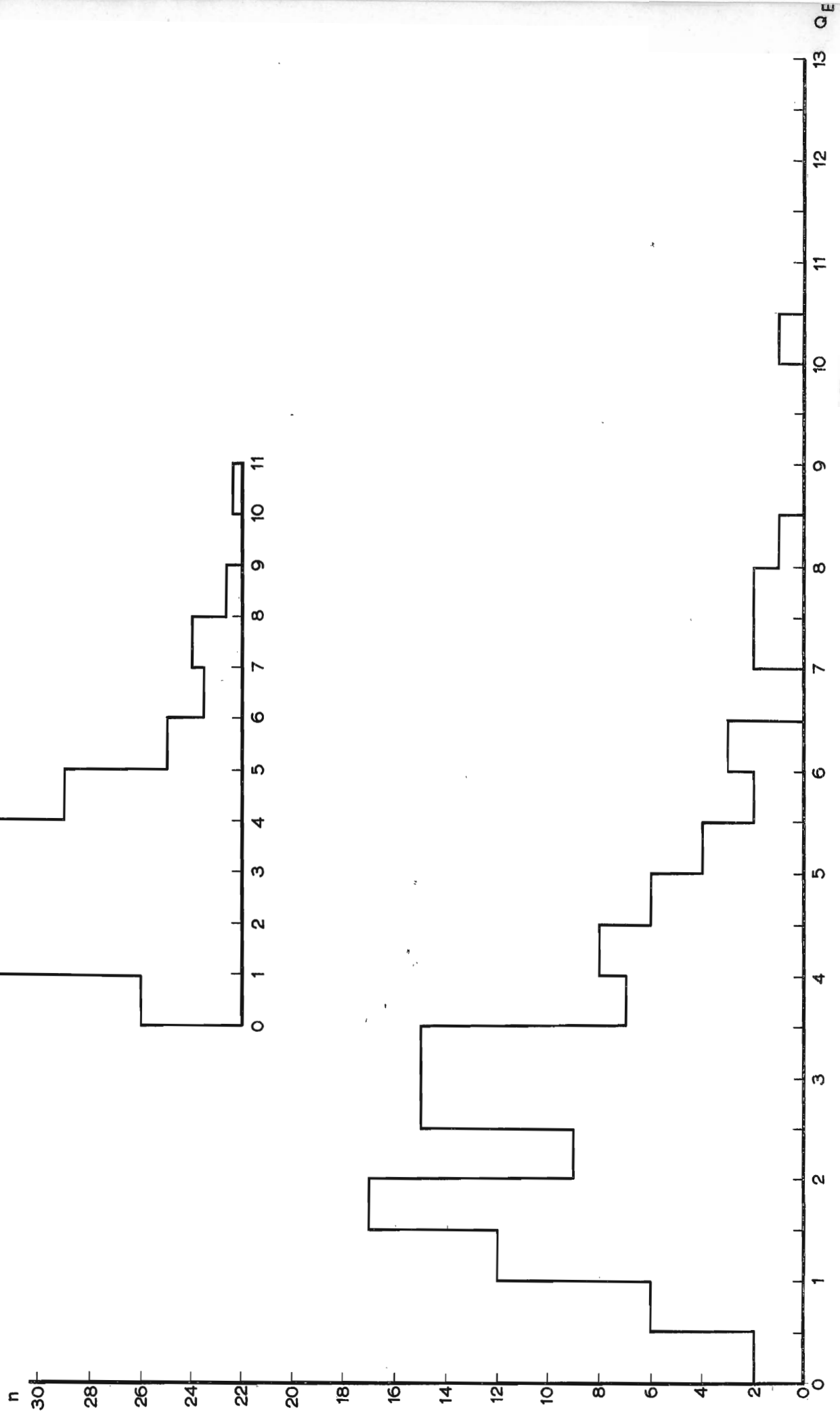
TABEL V (4)

Invloed verdamping op grondwaterpeil

) - 20 OCT. 1953

Station	P	E gemeten ($r=0.5$)	E gereduceerd (in mm)	$\frac{G_1+G_2}{2}$	ΔG (in cm)	Q	\bar{R} $= \bar{G} - 30$	$\frac{100 Q}{R}$
Wodesschool	1.8	6.5	5.8	137	3	1.93	107	1.80
Wekerk	2.5	7.1	5.1	138	10	0.51	108	0.47
Wagtweede	3.2	6.7	4.6	93	8	0.58	63	0.92
W. r. Apel	2.5	10.7	5.7	147	13	0.44	117	0.38
W. ezum	2.2	8.3	5.2	67	10	0.52	37	1.41
W. ure	3.4	7.8	3.9	102	4	0.98	72	1.36
W. euw Beets	1.4	8.8	5.8	71	1	5.807	41	14.157
W. pelsga	1.9	5.8	6.7	102	5	1.34	72	1.86
W. rredijk								
W. den	2.2	10.3	5.7	101	3	2.90	71	4.08
W. tteveen	1.3	8.4	7.3	164	8	0.91	134	0.68
W. ethoorn								
W. uveen	1.0	7.3	7.0	93	3	2.33	63	3.70
W. demsvaart								
W. eezerveen	2.8	8.7	6.0	110	3	2.00	80	2.50
W. sselmuiden								
W. oomshoop	2.8	7.8	6.5	50	2	3.25	20	16.25
W. erselo								
W. etinchem	2.7	5.3	5.0	173	3	2.00	143	1.40
W. rneveld								
W. enendaal	2.9	7.5	6.5	78	2	3.25	48	6.77
W. el								
W. Bilt								
W. gveld Pr.	0.8	7.5	6.2	48	4	1.55	18	8.61
W. enen								
W. hagen								
W. sse								
W. skoop	0.6	8.7	9.2	65	6	1.53	35	4.37
W. aldwijk	0.9	11.3	8.0	68	3	2.67	38	7.03
W. ldorp								
W. aayertpld.								
W. noondijke	1.1	10.3	9.5	192	3	3.17	162	1.96
W. el	0.2	9.3	10.0	192	3	3.33	162	
W. ndert	0.3	6.8	9.7	90	7	1.39	60	2.06
W. el	0.8	6.6	8.2	125	4	2.05	95	2.16
W. ssel								
W. nert	0.9	11.8	10.3	137	1		107	
W. ndert	1.7	9.5	8.3	147	8	1.04	117	0.89
W. os								
W. umproy								
W. sselstein	1.6	11.6	9.3	173	5	1.36	143	1.30

frequentie verdeling Q_E



Op deze manier werd getracht, de plaatselijke afwijkingen er uit te corrigeren zonder de regionale verschillen aan te tasten.

De zo gevonden gereduceerde verdampingswaarde, gedeeld door de daling ΔG van het grondwaterpeil, leverde weer een waarde Q , analoog aan de Q uit § 10.2.1.

Bij het beoordelen van de door de verdamping in de beschouwde periode veroorzaakte grondwaterdaling werd rekening gehouden met een gemiddelde vertraging, die op 1 etmaal werd gesteld, d.w.z. dat aan de verdamping, gemeten vanaf de ochtendwaarneming van 17 April tot die van 25 April, werd toegeschreven de grondwaterdaling, opgetreden tussen de peilingen van resp. 18 en 26 April.

Wij vinden zo weer een verzameling van Q -waarden, betrekking hebbend op de 4 genoemde perioden (zie tabel V). In totaal zijn dit, extreme en klaarblijkelijk onbruikbare waarden terzijde gelaten, 111 getallen. Daarvan behoren:

tot de periode	17 - 25 April	28	Q -waarden	met een gemiddelde	$\bar{Q} = 2,61$; $\sigma = 1,44$
" " "	1 - 6 Mei	26	Q -waarden	" " "	$\bar{Q} = 3,74$; $\sigma = 2,00$
" " "	7 - 14 Aug.	33	Q -waarden	" " "	$\bar{Q} = 3,59$; $\sigma = 1,52$
" " "	10 - 20 Oct.	24	Q -waarden	" " "	$\bar{Q} = 1,97$; $\sigma = 1,24$
Totaal 111 Q -waarden,					$Q_{\text{gem}} = \underline{\underline{3,03}}$

In fig. 8 vinden wij een frequentie-verdeling van deze 111 Q -waarden. Vergelijking met de frequentie-grafiek van de Q -waarden bij de neerslag (Q_p) toont aan, dat er bij de verdamping (Q_E) een veel hoger percentage grote Q -waarden voorkomt; terwijl bij de Q_p vrijwel geen waarden boven 2,5 voorkomen, ligt er bij de Q_E -frequentiecurve een tweede top tussen de waarden 2,5 en 3,5. Vandaar ook, dat \bar{Q}_E ongeveer 2 maal zo hoog uitvalt als \bar{Q}_p (3,03 tegen 1,42). De oorzaak van dit verschil is waarschijnlijk tweevoudig: In de eerste plaats is het natuurlijk mogelijk, dat de omrekeningsfactor $r' = 0,5$ toch nog te hoog is.

De factor $r' = rf$ is maar zeer onnauwkeurig bekend, o.a. omdat f onnauwkeurig is. Zouden wij in plaats van $f = 0,8$ de even plausibele waarde $f = 0,7$ nemen dan zou r' (afgerond) hierdoor van 0,5 op 0,4 terug kunnen gaan en zouden alle E -waarden en bijgevolg ook alle Q_E -waarden met 20% verminderd worden. Ook dan zou echter nog geen pariteit met Q_p bereikt zijn. Het is echter wel mogelijk, dat voor de perioden met sterke verdamping, die reeds voorafgegaan waren door vrij droge perioden, de waarde van f nog lager gekozen moet worden.

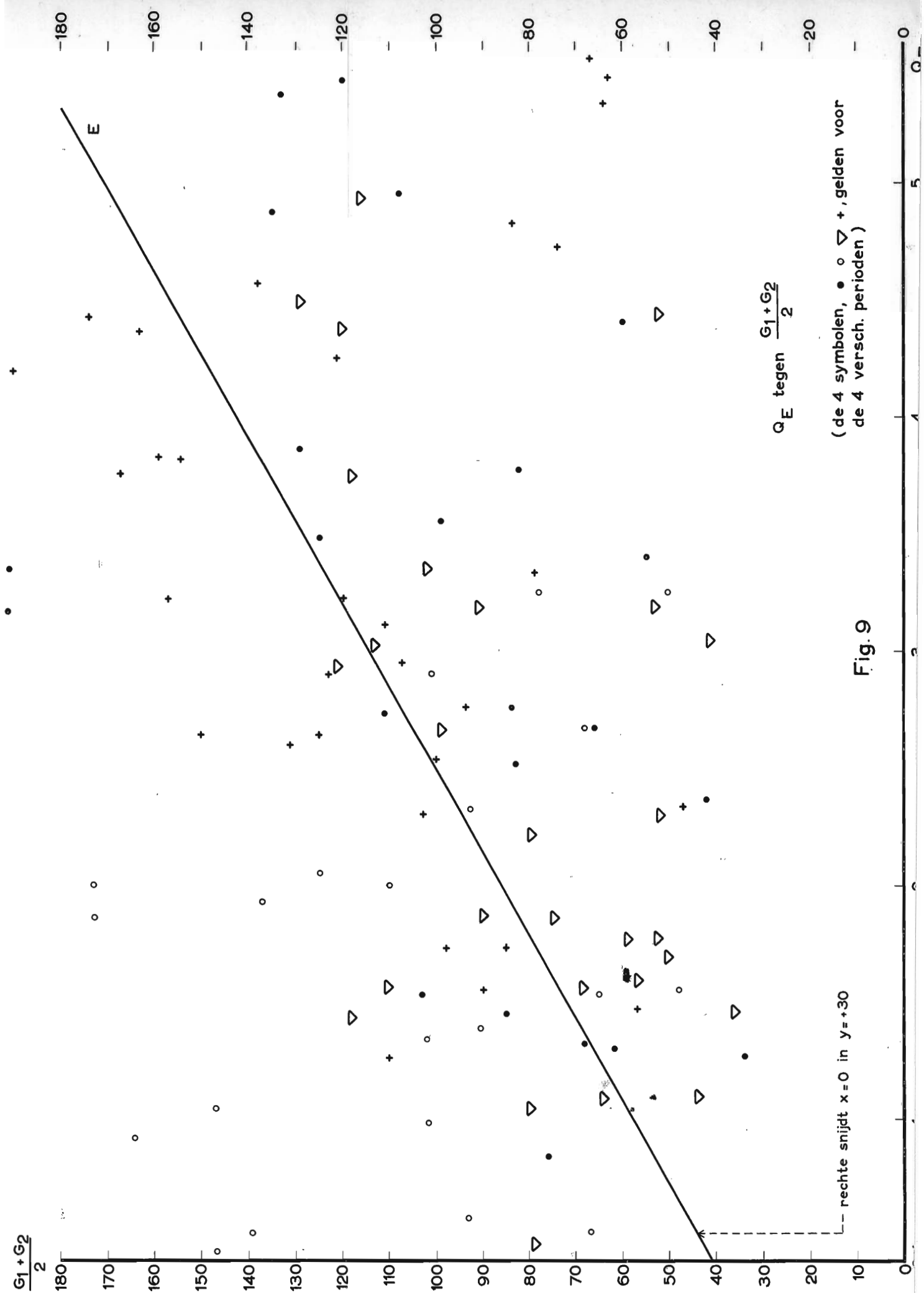


Fig.9

Er is bovendien nog een tweede oorzaak mogelijk voor het verschil tussen Q_p en Q_E . De gemiddelde neerslag-hoeveelheden P_{eff} in de 3 beschouwde perioden bedragen respectievelijk ongeveer 18 mm, 30 mm en 65 mm, daarentegen bedragen de gemiddelde verdampingshoeveelheden in de 4 beschouwde perioden respectievelijk slechts ongeveer 30 mm (eventueel te verminderen met een zeker percentage op grond van een te hoog aangenomen waarde van r_1), 20 mm, 30 mm en 7 mm; die hoeveelheden zijn dus kleiner, procentsgewijze oefent de toestand van de grondlaag boven het phreatisch niveau dus bij de beschouwing over de verdamping een grotere invloed uit dan bij de neerslag. Het is daarbij zeer wel denkbaar, dat bij de beschouwde neerslag-perioden in het algemeen een vrij hoge initiale vochtigheid in de bovenlaag heerste, omdat deze neerslagperioden niet voorafgegaan zijn door perioden met extreem hoge verdamping, zodat de beschouwde neerslaghoeveelheden vrijwel volledig ten goede gekomen zijn aan de grondwatervoorraad. Daarentegen kan tijdens de perioden met hoge verdamping een aanzienlijke daling van het vochtgehalte van de pendulaire laag zijn opgetreden, zonder dat dit direct leidde tot aanvulling ten koste van het grondwater. Hieruit zou zich laten verklaren, dat het effect van een zeker quantum neerslag op het grondwaterpeil schijnbaar sterker is dan het effect van een overeenkomstige hoeveelheid verdamping.

Naar aanleiding van de in deze en de voorgaande § beschreven experimenteel gevonden Q-waarden kunnen wij nog opmerken, dat theoretisch een zekere ondergrens voor de Q-waarden berekend kan worden op grond van de overweging, dat bij normale gronden het gemiddelde volumepercentage water in verzadigde grond een 40% bedraagt, terwijl in de pendulaire zone bij veldcapaciteit dit percentage ca 15% bedraagt. Dit betekent, dat wanneer géén vochtverandering in de pendulaire zone optreedt $Q = 2,5$ zou moeten zijn en anders hoger. De bij de verdamping gevonden waarden kloppen dus beter met deze beschouwing dan de bij neerslag gevonden waarden.

Wanneer wij, op analoge wijze als in § 10.2.1 met de Q_p -waarden is gedaan, de Q_E -waarden uitzetten tegen $\frac{G_1 + G_2}{2}$ krijgen wij een zeer

2

verspreide puntenwolk (fig. 9), waarbij het zeer moeilijk is om "op het oog" een representatieve rechte te ontdekken; wij hebben daarom vrij arbitrair $R_{gem} = G_{gem} = 30$ gesteld, daarbij aannemende dat, op grond van het hysteresis-verschijnsel, $(G - R)$ bij een verdampingsituatie groter mag zijn dan bij een neerslagsituatie. De zo verkregen Q/R -

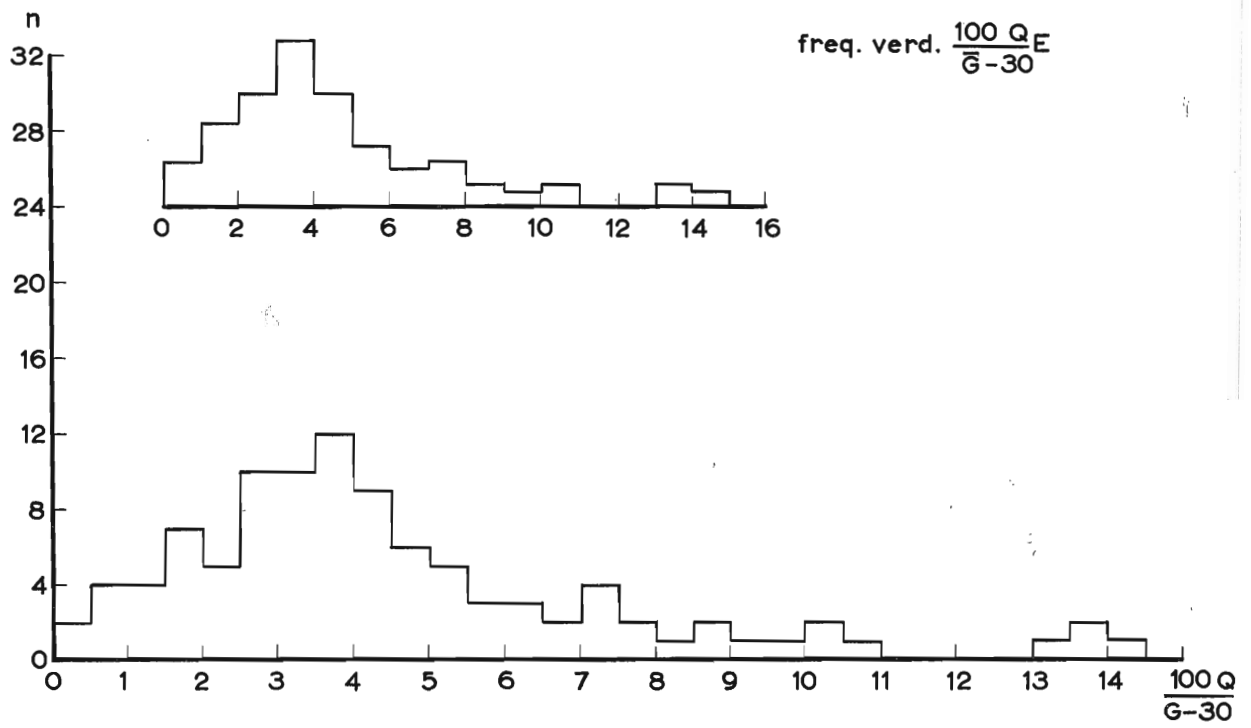


Fig.10

waarden vormen een vrij sterk gespreid collectief (fig. 10), waaruit dus geen aanwijzing valt te ontdekken voor een verband tussen Q en de grondwaterdiepte.

Tenslotte willen wij ook hier nagaan of er enige aanwijzing voor constantheid van de Q -waarden en de Q/R -waarden van afzonderlijke stations is te vinden.

	Periode			
	I	II	III	IV
	Q_E/R [Q_E]			
Niekerk	<u>3.85</u> [<u>2.66</u>]	<u>3.84</u> [<u>2.73</u>]	2.54 [<u>1.73</u>]	0.47 [<u>0.51</u>]
Roden	<u>4.42</u> [<u>2.21</u>]	2.64 [<u>1.45</u>]	3.28 [<u>4.36</u>]	<u>4.08</u> [<u>2.90</u>]
Rouveen	<u>4.13</u> [<u>1.86</u>]	-	<u>3.84</u> [<u>3.11</u>]	<u>3.70</u> [<u>2.33</u>]
Dedemsvaart	<u>3.12</u> [<u>1.87</u>]	-	<u>3.15</u> [<u>2.30</u>]	-
Barneveld	<u>2.08</u> [<u>1.04</u>]	<u>2.10</u> [<u>1.53</u>]	2.96 [<u>3.83</u>]	-
Veenendaal	<u>8.45</u> [<u>1.69</u>]	<u>7.42</u> [<u>2.67</u>]	3.63 [<u>2.54</u>]	<u>6.77</u> [<u>3.25</u>]
De Bilt	<u>4.25</u> [<u>3.74</u>]	-	<u>4.23</u> [<u>4.57</u>]	-
Boskoop	10.46 [<u>2.30</u>]	<u>14.67</u> [<u>4.40</u>]	<u>14.95</u> [<u>5.53</u>]	4.37 [<u>1.53</u>]
Ouddorp	<u>13.09</u> [<u>3.19</u>]	<u>13.60</u> [<u>3.40</u>]	6.80 [<u>3.33</u>]	-

Uit dit overzicht blijkt dat er wel enkele gevallen zijn van behoorlijke overeenkomst, meestal in de Q_E/R -waarden, ook wel in de Q_E -waarden, maar erg overtuigend is het niet. Het valt op dat er geen enkel verband bestaat tussen de Q_p -waarden en de Q_E -waarden op dezelfde plaatsen.

Uit de in 't voorgaande geproduceerde cijfers is dus met de beste wil niet veel argumentatie te halen voor de fundamentele betekenis van hetzij de Q -waarden hetzij de Q/R -waarden.

Aangezien bij het hier behandelde onderzoek ten gevolge van de toegepaste methode van dagelijkse waarneming op een vrij groot aantal stations een uitgebreide collectie gegevens werd verkregen, zou het, als laatste mogelijkheid die nog open staat, ter verkrijging van enig inzicht in de samenhang tussen de gemeten grootheden, wellicht de moeite lonen, hierop de door VISSER ontworpen methode der polyfactor-analyse toe te passen. Daar dit echter een omvangrijk rekenwerk vereist, kwam

het ons gewenst voor, ten einde de verschijning van dit rapport niet langer dan wenselijk is op te houden, aan het resultaat van deze peging te zijner tijd een afzonderlijk rapport te wijden en op deze plaats te volstaan met een korte schets van de gedachtengang die aan deze methode ten grondslag ligt.

10.2.3 Bewerking van onze gegevens met behulp van de methode der polyfactor-analyse.

Zoals reeds in het voorafgaande werd opgemerkt, zijn bij het door ons onderzochte verschijnsel vijf factoren in het spel, te weten

- 1°) de neerslag, P
- 2°) de verdamping, E
- 3°) de ondergrondse waterafvoer, A
- 4°) de verandering van de subphreatische watervoorraad, ΔH
- 5°) de verandering van de supraphreatische watervoorraad ΔT

Voor een beperkt gebied kan men de samenhang tussen deze grootheden in de vorm van een hydrologische balans als volgt opstellen:

$$P - E - A = \Delta H + \Delta T$$

Aangezien de verschillende grootheden in verschillende eenheden worden gemeten, moeten bij vier er van constanten toegevoegd worden, dus:

$$P - eE - aA - h\Delta H - t\Delta T = 0$$

Ter bepaling van deze vijf grootheden kan men het volgende opmerken:

- 1°) P is (waarschijnlijk met een vrij hoge graad van nauwkeurigheid) evenredig te stellen met de in de regenmeter opgevangen hoeveelheid neerslag.
- 2°) E is de reële evaporatie, deze is redelijk goed evenredig te stellen met de potentiële evaporatie, die met het Piche-apparaat wordt gemeten, eventueel rekening houdende met een seizoenfactor en een milieufactor.
- 3°) A, de afvoer, wordt niet gemeten. Een redelijke maat is waarschijnlijk te verkrijgen door toepassing van een formule van HOOGHOUDT, die de afvoer in eerste benadering recht evenredig stelt met het verschil tussen grondwaterpeil G en slootpeil S, dus $A = K \cdot (G - S)$.

Neemt men aan, dat S niet verandert tijdens de korte meetperiode, dan wordt dus $A = K G - K S = K G - K'$ waarin K en K' constanten zijn.

4°) ΔH , de verandering van de subphreatische watervoorraad is onder aanneme van een homogeen profiel (constante bergingscapaciteit) evenredig te stellen met de verandering in het grondwaterpeil ΔG , dus $\Delta H = g\Delta G$.

5°) ΔT , de verandering van de supraphreatische watervoorraad, blijft het moeilijkste punt. Een redelijke suggestie is, dat zij evenredig is met de dikte van de grondlaag boven het phreatisch vlak, dus met het grondwaterpeil, verder samenhangt met de bergingscapaciteit μ en voorts afhangt van de initiale vochtigheids toestand, die men in eerste benadering evenredig zou kunnen stellen met het neerslag- resp. verdampingsoverschot in een zekere voorafgaande periode, waarbij het vaststellen van de duur van deze periode voorshands volkomen arbitrair is. In elk geval zou men dus kunnen zeggen:

$$\Delta T = f \cdot G \cdot (P - E) .$$

Als ruwe benadering kan men dus op grond van het bovenstaande de balans de volgende vorm geven:

$$P - kE - l \cdot G - m\Delta G - nG(P - kE) = 0$$

waarin, behalve de via de methode der polyfactoranalyse te bepalen constanten k , l , m en n , als variabelen slechts voorkomen de gemeten grootheden P , E , G en ΔG .

11 Enkele theoretische beschouwingen over de invloed van neerslag en verdamping op de grondwaterstand.

1. Wij beschouwen een verticale zuil in de grond met als doorsnede de eenheid van oppervlakte, en onderstellen dat in horizontale richting geen waterstroming plaats vindt. Wij kiezen een coördinatensysteem met de oorsprong in het maaiveld (= X-Y-vlak) en de Z-as verticaal naar beneden. X- en Y-richting zijn arbitrair: alle beschouwingen gelden onafhankelijk van de keuze van deze richtingen.

Noemen wij P = neerslag,
 E = verdamping,
 p = volumefractie van de grond, ingenomen door de poriën,
 t = tijd,
 $f(z,t)$ = fractie van p die met water is gevuld (variërend met het niveauzen in de tijd t ,

dan geldt

$$\delta P - \delta E = \delta \int_0^{\infty} p \cdot f(z,t) \cdot dz \dots \dots \dots 1)$$

Wij veronderstellen de structuur van onze grond-zuil homogeen, dus $p = \text{const.}$ voor alle z ,

Voor $f(z, t)$ geldt: $1 \geq f \geq 0$.

Op zekere eindige diepte bevindt zich het phreatisch vlak, hierboven is een capillaire zône; zij de bovengrens van de capillaire zône op een diepte h gelegen dan geldt $f(H, t) = 1$ voor iedere $H \geq h$ - - - - - 2/

Deze h fluctueert met de tijd als gevolg van veranderingen van P en E met de tijd. Hoe de functie $f(z, t)$ verder is samengesteld, is voorsnog onbekend. Zij hangt uiteraard samen met fysieke eigenschappen van de grond, als doorlatendheid, porienvolume, korrelvorm en -grootte, en met de wijze waarop P en E variëren met de tijd. In verband met het laatste schrijven wij 1) in de vorm

$$\frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \int_0^{\infty} p \cdot f(z, t) dz \text{ - - - - - 3)}$$

Beschouwen wij de veranderingen boven en beneden het h -niveau apart dan splitsen we 3):

$$\frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \int_0^{h(t)} p \cdot f(z, t) \cdot dz + \frac{d}{dt} \int_{h(t)}^{\infty} p \cdot f(z, t) dz \text{ - - - 4)}$$

Uitvoering van de differentiaties levert wegens 2):

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} &= p \left\{ \int_0^{h(t)} \frac{\partial f}{\partial t} dz + f(h, t) \frac{dh}{dt} \right\} - p \frac{dh}{dt} = \\ &= p \int_0^{h(t)} \frac{\partial f}{\partial t} dz \text{ - - - - - 5)} \end{aligned}$$

Integratie over een willekeurig tijdvak τ levert

$$\int_0^{\tau} \frac{dP}{dt} dt - \int_0^{\tau} \frac{dE}{dt} dt \equiv P - E = p \int_0^{\tau} \int_0^{h(t)} \frac{\partial f}{\partial t} dz dt \text{ - - - 6)}$$

2.1

Wij beschouwen thans eerst het bijzondere geval dat (α): $f(z, t) = az + bt + c$, waarbij a , b en c constanten zijn, en (β): $f(h, t) = ah + bt + c \equiv 1$. 7) α, β

Hier wordt dus verondersteld dat de "relatieve vochtigheid" van de grond boven het capillaire grensvlak lineair afneemt, en dat deze afname in de tijd gehandhaafd blijft.

Uit 7 β volgt direct : $h(t) = \frac{1 - c - bt}{A}$ 8)

Voor dit geval geldt nu [met gebruikmaking van 6), 7) en 8)]:

$$P - E = p \int_0^\tau \int_0^{h(t)} b \, dz \, dt = pb \int_0^\tau \frac{1 - c - bt}{a} \, dt =$$

$$= p \frac{b}{a} \left\{ (1 - c)\tau - \frac{b}{2} \tau^2 \right\} \dots\dots\dots 9)$$

Nu is op grond van 8):

$$\left. \begin{aligned} h(0) &\equiv h_0 = \frac{1 - c}{a} \\ \text{en } h(\tau) &\equiv h_\tau = \frac{1 - c}{a} - \frac{b}{a} \tau \end{aligned} \right\} \rightarrow h_0 - h_\tau = \frac{b}{a} \tau$$

of $\tau = \frac{a}{b} (h_0 - h_\tau)$ 10)

waardoor 9) overgaat in

$$P - E = p (h_0 - h_\tau) \left\{ ah_0 - \frac{a}{2} (h_0 - h_\tau) \right\} = ap (h_0 - h_\tau) \left(\frac{h_0 + h_\tau}{2} \right) \dots\dots\dots 11)$$

of $\frac{P - E}{h_0 - h_\tau} = ap \cdot \frac{h_0 + h_\tau}{2}$ 11a)

wat overeenkomt met de in § 10.2.1 langs elementaire weg afgeleide formule 8): $Q = x C \cdot G_{\text{gem}}$.

2.2

De bijzondere vorm van $f(z, t)$ in 2.1 impliceert, dat de "relatieve vochtigheid" van de grond op elk niveau (tussen $z = 0$ en $z = h$) lineair met de tijd verandert. Deze onderstelling is althans voor voldoende grote tijdvakken uit fysisch oogpunt zéker niet gerechtvaardigd. Beschouwen wij daarom een algemener geval:

$$f(z, t) = az + \psi(t) + c, \dots\dots\dots 12)$$

waarbij $\psi(t)$ een willekeurige functie van de tijd voorstelt, doch waarbij de lineaire afhankelijkheid tussen vochtigheid en afstand tot het capillaire grensvlak gehandhaafd blijft, dan geldt analoog aan 7 β) en 8):

$$f(h, t) = ah + \psi(t) + c \equiv 1 \dots\dots\dots 13)$$

of

$$h(t) = \frac{1 - c - \psi(t)}{a} \dots\dots\dots 14)$$

Vergelijking 6) gaat nu over in 15):

$$\begin{aligned}
 P-E &= p \int_0^\tau \int_0^{h(t)} \frac{d\psi}{dt} dz dt = p \int_0^\tau \frac{d\psi}{dt} h(t) dt = \\
 &= -ap \int_0^\tau \frac{dh}{dt} h dt = -ap \int_{h_0}^{h_\tau} h dh = \\
 &= \frac{1}{2} ap (h_0^2 - h_\tau^2) = ap (h_0 - h_\tau) \left(\frac{h_0 + h_\tau}{2} \right) \dots^{15)}
 \end{aligned}$$

waarmee dus dezelfde uitkomst is verkregen als in [2.1].

2.3

Laten wij nu ook de voorwaarde van het lineaire vochtigheidsverloop in de grond boven de capillaire zône vervallen en stellen we algemeen

$$f(z, t) = \varphi(z) + \psi(t) + c \dots\dots\dots 16)$$

waarin φ en ψ willekeurige functies voorstellen, evenwel met de conditie dat

$$f(h, t) = \varphi(h) + \psi(t) + c \equiv 1 \dots\dots\dots 17)$$

waaruit volgt

$$\varphi(h) = 1 - c - \psi(t)$$

en

$$\frac{d}{dt} \varphi(h) = \frac{d\varphi}{dh} \cdot \frac{dh}{dt} = - \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots 18)$$

dan vinden wij voor 6)

$$\begin{aligned}
 P-E &= p \int_0^\tau \frac{d\psi}{dt} h dt = -p \int_0^\tau \frac{d\varphi}{dh} \frac{dh}{dt} h dt = \\
 &= -p \int_{h_0}^{h_\tau} z \frac{d\varphi}{dz} dz \dots\dots\dots 19)
 \end{aligned}$$

2.3.1

Vergelijking 19) is nog iets verder uit te werken voor het geval dat $\varphi(z)$ in een machtreeks is te ontwikkelen:

$$\varphi(z) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n z^n \dots\dots\dots 20)$$

dan is namelijk

$$\begin{aligned}
 P-E &= -p \int_{h_0}^{h_\tau} z \sum_{n=1}^{\infty} n a_n z^{n-1} dz = -p \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} a_n z^{n+1} \right]_{h_0}^{h_\tau} = \\
 &= p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} a_n (h_0^{n+1} - h_\tau^{n+1}) = p (h_0 - h_\tau) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} a_n \sum_{m=n}^{\infty} h_0^m h_\tau^{n-m} \dots\dots\dots 21)
 \end{aligned}$$

De invloed van de hogere termen in deze betrekking hangt af van de verhouding van de constanten in de gegeven machtreeks en van τ .

2.4

In de tot nog toe ingevoerde uitdrukkingen voor $f(z, t)$ hebben we deze steeds opgebouwd gedacht uit een diepte-functie en een tijd-functie. De tijd-functie maakt, dat de diepte-functie a.h.w. een verschuiving ondergaat in het f, z -diagram. Het lijkt evenwel niet waarschijnlijk, dat de werkelijkheid zich met eendergelijke voorstelling verdraagt. Meer plausibel is, dat de coëfficiënt a in de vgl. 7), 12) en 20) zelf varieert met neerslag en verdamping en dus impliciet met de tijd.

Wij willen daarom de volgende onderstelling maken:

$$f(z, t) = \left(\alpha \frac{dP}{dt} - \beta \frac{dE}{dt} \right) z + \psi(t) + c \dots\dots\dots 22)$$

waarin α , β en c constanten zijn.

Stellen wij

$$\alpha P_{(t)} - \beta E_{(t)} = F_0(t) \dots\dots\dots 23)$$

dan is

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{d^2 F_0}{dt^2} z + \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots 24)$$

en

$$f(h, t) = \frac{dF_0}{dt} \cdot h + \psi(t) + c \equiv 1 \dots\dots\dots 25)$$

Nu is volgens 5) en 24):

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} &= \rho \int_0^{h(t)} \frac{\partial f}{\partial t} dz = \\ &= \rho \int_0^{h(t)} \left(\frac{d^2 F_0}{dt^2} z + \frac{d\psi}{dt} \right) dz = \rho \left\{ \frac{d^2 F_0}{dt^2} \cdot \frac{h^2(t)}{2} + \frac{d\psi}{dt} h(t) \right\} \dots\dots\dots 26) \end{aligned}$$

Differentiatie van 25) geeft:

$$\frac{d\Psi}{dt} = - \left(\frac{dF_0}{dt} \frac{dh}{dt} + \frac{d^2F_0}{dt^2} h \right), \dots\dots\dots 27)$$

wat gesubstitueerd in 26) levert:

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt}}} &= p \left\{ \frac{d^2F_0}{dt^2} \frac{h^2}{2} - \frac{dF_0}{dt} \frac{dh}{dt} h - \frac{d^2F_0}{dt^2} h^2 \right\} = \\ &= - \frac{p}{2} \left\{ \frac{d^2F_0}{dt^2} h^2 + 2 \frac{dF_0}{dt} \frac{dh}{dt} h \right\} = \underline{\underline{- \frac{p}{2} \frac{d}{dt} \left(h^2 \frac{dF_0}{dt} \right)}} \dots\dots\dots 28) \end{aligned}$$

Integratie over een willekeurig tijdvak τ levert dan, gelet op vgl. 23):

$$\begin{aligned} P - E &= \frac{p}{2} \left[h^2 \frac{dF_0}{dt} \right]_{\tau} = \\ &= \frac{p}{2} \left[h_0^2 \left\{ \alpha \left(\frac{dP}{dt} \right)_0 - \beta \left(\frac{dE}{dt} \right)_0 \right\} - h_{\tau}^2 \left\{ \alpha \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\tau} - \beta \left(\frac{dE}{dt} \right)_{\tau} \right\} \right] \dots\dots\dots 29) \end{aligned}$$

Indien nu aan het begin en aan het eind van de beschouwde periode geen neerslag valt, is

$$\left(\frac{dP}{dt} \right)_0 = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\tau} \equiv 0$$

Zouden wij bovendien aannemen dat de periode zo gekozen is dat

$$\left(\frac{dE}{dt} \right)_0 = \left(\frac{dE}{dt} \right)_{\tau},$$

dan vereenvoudigt vgl. 29) zich tot

$$P - E = - \frac{1}{2} p \beta (h_0^2 - h_{\tau}^2) \left(\frac{dE}{dt} \right)_{0,\tau}, \dots\dots\dots 30)$$

hetgeen geheel analoog is aan 15), indien

$$a = -\beta \left(\frac{dE}{dt} \right)_{0, \tau} \dots \dots \dots 31)$$

gesteld wordt.

2.4.1

Tenslotte willen wij het verband tussen z en t in $f(z, t)$ een nog wat algemenere vorm geven door te stellen

$$f(z, t) = a_1(t)z + a_2(t)z^2 + \dots + a_k(t)z^k + \dots + a_0(t) =$$

$$\text{Dan is} \quad \quad \quad = \sum_{n=0}^{\infty} a_n(t)z^n \dots \dots \dots 32)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{da_n}{dt} z^n, \quad \text{en} \quad f(h, t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n h^n \equiv 1 \dots \dots \dots 33), 34)$$

Nu is volgens 5)

$$\frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} = p \int_0^{h(t)} \frac{\partial f}{\partial t} dz = p \int_0^h \sum_{n=0}^{\infty} \frac{da_n}{dt} z^n dz =$$

$$= p \sum_{n=0}^{\infty} \frac{da_n}{dt} \cdot \frac{h^{n+1}}{n+1} \dots \dots \dots 35)$$

Differentiatie van 34) naar t levert, na vermenigvuldiging met ph :

$$p \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{da_n}{dt} h^{n+1} + \frac{dh}{dt} \sum_{n=1}^{\infty} n a_n h^n \right\} = 0 \dots \dots \dots 36)$$

Elimineren wij uit 35) en 36) de term $p \frac{d a_0}{dt} h$, dan vinden wij:

$$\frac{dP}{dt} - \frac{dE}{dt} = -p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} \frac{d}{dt} (a_n h^{n+1}) \dots \dots \dots 37)$$

Integreren wij 37) over een willekeurig tijdvak τ , dan vinden wij:

$$\underline{P - E} = -p \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} a_n h^{n+1} \right]_0^{\tau} =$$

$$= p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} (a_{n0} h_0^{n+1} - a_{n\tau} h_{\tau}^{n+1}) \dots \dots \dots 38)$$

Deze uitdrukking leert ons dat in het algemeen het rechterlid niet deelbaar is door $h_0 - h_T$. Dit is alleen dan wel het geval indien algemeen

$$a_{n0} = a_{nT}$$

zou gelden. Dit laatste betekent echter, dat in 32) alle coëfficiënten $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ constanten zouden moeten zijn, en alleen $a_0(t)$ als functie van t nog is toegestaan; of anders gezegd: in het f, z -diagram verschuift de kromme $f(z, t)$ evenwijdig aan zichzelf zonder vervorming! Wij vinden dan het geval [2.3.1] terug. Dit geval lijkt ons fysisch tamelijk onwaarschijnlijk.

Wil men de uitkomst evenwel op een vorm brengen die aan 11) analoog is, door beide leden te delen door $h_0^2 - h_T^2$, dan blijft in het rechterlid een uitdrukking, die geen eenvoudige vorm heeft.

Men mag zich dan ook niet verbazen, dat in een grafiek waarin $\frac{P-E}{h_0 - h_T}$ tegen $h_0 + h_T$ wordt uitgezet (d.w.z. in onze terminologie van de voorafgaande hoofdstukken: Q tegen $R_{\text{gemiddeld}}$), de punten sterk zullen streoien en er geen lineair verband te voorschijn komt. De coëfficiënten a_{i0} en a_{iT} worden bepaald door de op deze ogenblikken (0 en T) in de grond heersende vochtverdeling, dus door de initiale en de finale vochtverdeling boven het phreatisch niveau, welke op haar beurt afhangen van de voorgeschiedenis betreffende neerslag en verdamping, en van de bodemgesteldheid.

CONCLUSIES EN RICHTLIJNEN

Wij willen tenslotte naar aanleiding van al het voorgaande nog een korte kritische beschouwing geven van het hier beschreven onderzoek en trachten een richtlijn aan te geven voor de wijze waarop het onderzoek in de toekomst naar onze mening met de meeste kans op succes kan worden voortgezet.

De leidende gedachte bij de opzet van het hier beschreven onderzoek is geweest, een groot aantal - desnoods vrij ruwe - gegevens te verzamelen en hieruit met behulp van de een of andere statistische methode constanten te bepalen in een formule, die ons in staat moet stellen de gemiddelde invloed van neerslag c.q. verdamping op de grondwaterstand te berekenen.

Onafhankelijk van de resultaten van de nog toe te passen statistische methode (polyfactoranalyse) kan uit de voorafgaande beschouwingen en quantitatieve gegevens reeds worden afgeleid, dat het onwaarschijnlijk is, dat deze

wijze van doen zal leiden tot een in concrete gevallen met een redelijke mate van nauwkeurigheid toepasbaar resultaat. Het blijkt namelijk, dat er een grote spreiding bestaat in de verhoudingen tussen de op verschillende tijden en plaatsen gemeten verdampings - c.q. neerslagoverschotten en de begeleidende grondwaterpeilfluctuaties. Deze spreiding kan niet verklaard worden uitsluitend uit onnauwkeurigheden in de meting der verschillende factoren, zij het ook dat met name de meting van de grondwaterpeilvariatie, gezien in verhouding tot de grootte van deze variatie over kleine tijdvakken, onnauwkeuriger is dan gewenst zou zijn. De hoofdoorzaak van de divergentie in de resultaten is naar onze mening gelegen in het feit, dat de grondwaterpeilverandering in zeer sterke mate verband houdt met niet direct gemeten factoren, met name specifieke eigenschappen van de bodem en de algemene hydrologische situatie. Deze factoren verschillen van plaats tot plaats en in de tijd zodanig, dat bepaling van een statistisch gemiddelde slechts geringe reële betekenis kan hebben, te meer waar een balansformule die alleen de gemeten grootheden als variabelen bevat, slechts tot stand kan komen onder aannahme van allerlei feitelijk ontoelaatbare vereenvoudigingen.

Wij zouden daarom voor een onderzoek van de invloed van het weer op de grondwaterstandsveranderingen de volgende suggesties willen geven:

Men kiese een beperkt aantal meetpunten (bijvoorbeeld 4 tot 6 voor geheel Nederland). Bij de keuze van de meetplaatsen late men zich in hoofdzaak leiden door de bodemkundige en waterstaatkundige toestand, hetgeen in de praktijk betekent dat men op advies van agrohydrologische en bodemkundige deskundigen een aantal plekken kiest met speciale profielen, die representatief zijn voor in Nederland veelvuldig voorkomende bodemtypen.

Deze profielen moeten nauwkeurig geanalyseerd worden, en tevens trachte men zo goed mogelijk op de hoogte te komen van de eventuele aanvoer resp. afvoer ter plaatse, m.a.w. van de hydrologische situatie. Eventueel vulle men de bodem-analyse aan met laboratoriumbepalingen van diverse bodem-constanten zoals doorlatendheid, bergend vermogen, capillaire opstijging etc. Deze voorbereidingen zullen dus vrij uitvoerig moeten zijn, doch ze behoeven per plek slechts één maal te werden uitgevoerd, indien althans de eigenlijke metingen in een betrekkelijk korte tijd kunnen aflopen.

Op de gekozen proefplekken worden dan waterstandsbuizen geslagen en men volge de grondwaterpeilfluctuaties zeer nauwkeurig, liefst met registratie. Een instrument hiervoor, bijv. volgens een vlottersysteem, zal o.i. vrij eenvoudig te construeren zijn.

Verder moeten op de gekozen proefplekken weerkundige waarnemingen worden gedaan. Deze behoeven evenwel niet aan bijzondere eisen van nauwkeurigheid enz. te voldoen, daar de "meteorologische" termen in de vergelijking

uiteraard reeds nauwkeuriger zijn te bepalen dan de hydrologische. Men zal kunnen volstaan met een gewone regenmeter, een geschikt opgestelde en goed functionerende evaporimeter en eventueel een eenvoudige luchtthermometer (max - min). Het zou van betekenis kunnen zijn ook de factoren luchtdruk, windrichting en windkracht in het oog te houden, doch voor bepaling hiervan voldoen de bestaande installaties.

Voor de beoordeling van de veranderingen in de vochtigheidstoestand van de supraphreatische laag zullen speciale voorzieningen nodig zijn. In volgorde van wenselijkheid zou men hiervoor gebruik kunnen maken van:

- a) een registratie, bijv. volgens de methode van Bouyoucos, op verschillende diepten, op regelmatige tijdstippen aangevuld en geijkt door vochtigheidsbepalingen volgens een absolute methode.
- b) op regelmatige tijden monsters nemen op verschillende punten en op verschillende diepten en hiermede een absolute bepaling uitvoeren, eventueel volgens een eenvoudige veld-methode.
- c) Popoff-potten.
- d) goede tensiometer-bepalingen op verschillende diepten.

Uit een en ander volgt, dat het zuiver-meteorologische aandeel in het geschetste onderzoek verreweg het eenvoudigste zal zijn. In dit licht gezien is o.i. de oorspronkelijke vraagstelling feitelijk reeds enigszins gewijzigd. Oorspronkelijk was men van mening, dat men de "hydrologische" constanten gemakkelijk door middel van een statistische analyse naar voren zou kunnen halen en dat de voornaamste moeilijkheid feitelijk gelegen was in de bepaling van de reële verdamping. Het bleek echter bij de verwerking van de boven besproken waarnemingen dat een redelijke schatting van de reële verdamping met gebruikmaking van de evaporimeter-gegevens, onder inachtneming van seizoens- en eventueel milieu-factoren, geen onoverkomelijke moeilijkheden meer biedt, doch dat de voornaamste moeilijkheid ligt in de diversiteit der hydrologische factoren.

Het heeft dus zin, zich af te vragen in hoeverre de huidige probleemstelling nog op het terrein van de (agrometeoroloog) ligt.

SAMENVATTING

Dagelijkse waarnemingen van het grondwaterpeil, de neerslag en de verdamping (gemeten met PICHE-apparaat) op een 40-tal stations in Nederland gedurende het tijdvak 1 Sept. '52 - 1 Mrt '54 werden bewerkt. Vergelijking van de afwijkingen van de maandwaarden der verdamping op de verschillende

stations ten opzichte van de landsgemiddelden toont aan, dat het bestaan van regionale verschillen waarschijnlijk is. De 3 Noordelijke provincies hebben in de zomer betrekkelijk lage verdamping, het midden en het Zuidoosten des lands en de streek achter de duinen hebben relatief hoge verdamping. Door een berekening volgens PENMAN wordt deze indruk versterkt. Deze regionale afwijkingen zijn van de orde van 10% à 20% van het gemiddelde.

Locale verschillen in de gemeten verdamping zijn vermoedelijk te wijten aan verschillen in opstelling der verdampingsmeters.

De maandgemiddelden der grondwaterstanden tonen voor sommige stations een duidelijke jaarlijkse gang; bij andere stations wordt blijkbaar getracht kunstmatig een constant grondwaterpeil te handhaven.

Berekening van de invloed van de neerslag, c.q. de verdamping, op het grondwaterpeil levert diverse moeilijkheden op, waarvan de voornaamste zijn:

- a) onzekerheid over het verband tussen reële en potentiële verdamping en over de omrekeningsfactor van de Piche-evaporimeter.
- b) onzekerheid omtrent de vochtigheidscondities van de supraphreatische laag.
- c) onzekerheid omtrent de factor laterale afvoer.

De berekening van de waarde $Q = \text{aantal mm neerslag c.q. verdamping}$, nodig voor een grondwaterpeilvariatie van 1 cm, levert dan ook een incoherente verzameling waarden op. Voor een aantal onderzochte gevallen van positief neerslagoverschot wordt een gemiddelde $\bar{Q}_p = 1,42$ gevonden, wat uit theoretisch oogpunt een te lage waarde schijnt, doch in overeenstemming is met een resultaat van VISSER. Een aantal gevallen van positief verdampingsoverschot levert een hogere Q -waarde, n.l. $\bar{Q}_E = 3,03$. Getracht is, voor dit verschil tussen Q_p en Q_E mogelijke oorzaken aan te wijzen. Een relatie tussen Q en de gemiddelde grondwaterdiepte was niet betrouwbaar aan te tonen. Onderzoek naar de consistentie van Q -waarden en $Q/R (= Q/G-A)$ waarden voor verschillende perioden op dezelfde plaats leverde evenmin een goed resultaat.

Met toepassing van enkele ruwe benaderingen is het mogelijk, de hydrologische balans op een vorm te brengen waarbij ze uitsluitend de gemeten grootheden neerslag, verdamping, grondwaterpeil en fluctuatie van dit peil als variabelen bevat. Op grond van deze balans-formule wordt toepassing van de polyfactor-analyse op de verkregen gegevens mogelijk. Het resultaat hiervan zal afzonderlijk gepubliceerd worden.

Getracht is onder vereenvoudigende veronderstellingen een berekening op te zetten van de verandering in de verticale vochtverdeling in een grondzuil ten gevolge van toevoer en onttrekking van water via het bovenvlak. Hierbij is verplaatsing van vocht in horizontale richting gelijk 0 gesteld. Duidelijk blijkt hier weer de belangrijke invloed van de initiale en de finale vochtverdeling in de supraphreatische laag.

Tenslotte is getracht, op grond van de verkregen uitkomsten en inzichten enkele richtlijnen aan te geven voor een gewijzigde voortzetting van het onderzoek.

SUMMARY

Daily observations of ground-waterlevel, precipitation and evaporation (measured with Piche-evaporimeters) during the period 1.IX.'52 to 1.III.'54 at about 40 stations in the Netherlands were compiled.

1. Evaporation.

A comparison of the deviations of the monthly sums of evaporation at the various stations with regard to the mean values for the whole country, shows that the existence of real regional differences is probable.

During summer the 3 northern provinces (Groningen, Friesland and part of Drenthe) have relatively low evaporation, whereas the central and south-eastern parts of the country as well as a narrow area just behind the dunes at the west-coast then have relatively high evaporation (comp. map, fig. 2).

These regional deviations are from the order of 10 to 20 per cents of the country-mean (comp. Tables I and II).

Evaluation of evaporation from meteorological data according to PENMAN's method gives a similar result.

Local differences in the observed evaporation-values presumably are due to different exposure of the evaporimeters.

2. Ground-waterlevel.

For a number of stations the monthly means show a pronounced seasonal trend, at some other stations a more or less constant ground-waterlevel has been maintained artificially (comp. Table III).

3. Relations between precipitation c.q. evaporation and ground-waterlevel.

A computation of the influence of precipitation c.q. evaporation on ground-waterlevel provides many difficulties, of which the most important are:

- a) uncertainties about the ratio between actual and potential evaporation and about the relation of evaporimeter-data to actual evaporation;
- b) lack of knowledge about the water-content of soil-layers above ground-waterlevel;
- c) lack of knowledge about lateral sub-soil run-off.

For a number of cases the ratio's Q (Q_P resp. Q_E) = number of mm precipitation resp. evaporation required for a 1 cm-fluctuation of ground-waterlevel, were computed (comp. Tables IV and V).

Because of the above-cited difficulties these sets of Q-values are fairly incoherent. The mean of our Q_P-values, is $\bar{Q}_P = 1,42$, which value seems somewhat too small from a theoretical point of view but is in good agreement to a result obtained by W.C. VISSER.

The mean of our Q_E-values is $\bar{Q}_E = 3,03$. We tried to find reasons for this difference.

We did not succeed in proving a connection between the Q-values and the mean ground-waterdepth. An investigation into the invariance of either the Q-values or the ratio's $Q/(G - A) = \int G$ being the mean ground-waterdepth, A a constant for different periods at the same station showed no positive result.

Assuming some important simplifications it is possible to give such a form to the hydrological balance-formula as to contain only precipitation P, evaporation E, ground-waterlevel G and the fluctuation ΔG of this level as variables to be measured. On account of this balance-formula an application of polyfactorial analysis to the data obtained becomes possible. The results of this analysis will be published separately.

We tried to evaluate theoretically the changes in moisture-content along a vertical axis in a soil-column, caused by supply or drain of water through the surface (lateral displacement of water being supposed to be = 0).

These computations showed clearly the important influence of initial and final moisture-partition in the soil above ground-waterlevel.

Making use of the results and views obtained we finally tried to work out some lines for a modified continuation of these investigations.

NASCHRIFT

Dit verslag, dat oorspronkelijk bedoeld was te verschijnen in de vorm van een betrekkelijk beknopt jaarverslag, is mede als gevolg van verschillende discussies uitgegroeid tot de huidige omvang. Aan Ir W.C. Visser, leider van het C.O.L.N.-onderzoek en aan verscheidene leden van de staf van Afd. III, in 't bijzonder Dr L.J.L. Deij, wordt gaarne dank betuigd voor hun aandeel in deze discussies, waardoor op tal van punten tot verheldering van het inzicht in de hier beschouwde problemen is bijgedragen.

De Bilt, Juli 1954 .