J. v Bakel

Werkcommissie
voor het
verdampings-
onderzoek

EINDVERSLAG

Inhoud

		blz.
hoofdstuk 1	Verdampingsonderzoek in Nederland 1942-1971 (ir. M.Snijdelaar)	7
1.1	Inleiding	7
1.2	Instelling van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek	8
1.3	Taak van de Werkcommissie	9
1.4	Keuze van de onderzoeksobjecten	9
1.5	Inrichting van de Rottegatspolder	12
1.6	Duur van het onderzoek	14
1.7	Resultaten onderzoek	15
1.8	Beëindiging van het onderzoek in de Rottegatspolder	15
1.9	Samenstelling van de Werkcommissie	16
1.10	Dankbetuiging	18
hoofdstuk 2	Verdampingsmetingen in de drijvende bak op het IJsselmeer en in de ingegraven bak te Urk (ir. M. Snijdelaar)	19
2.1	Inleiding	19
2.2	Het verdampingsonderzoek te Urk van augustus 1943 tot heden	19
2.2.1	Beschrijving van het waarnemingsstation	19
2.2.2	Het instrumentarium	21
2.2.3	Het onderzoek	21
2.2.3.1	Inleiding	21
2.2.3.2	Verdampingsonderzoek aan drijvende en ingegraven bakken	27
2.2.3.3	Vergelijkend onderzoek aan drijvende bakken ('buiten'-'binnen')	27
2.2.3.4	Vergelijkend onderzoek aan bak gemaal en bak dijk	28
2.3	Het waarnemingsmateriaal	28
2.3.1	Aanvulling onvolledig waarnemingsmateriaal	28
2.3.2	De onderzoeksresultaten	35
2.3.2.1	Verdampingsonderzoek aan drijvende en ingegraven bakken	35
2.3.2.2	Vergelijkend onderzoek aan drijvende bakken ('buiten' -'binnen')	37
2.3.2.3	Vergelijkend onderzoek aan bak gemaal en bak dijk	37
2.4	Bewerking van het verzameld materiaal	37
2.4.1	Inleiding	37
2.4.2	Bewerking van de gegevens bak dijk - bak gemaal	38
2.4.3	Bewerking van de gegevens bak dijk - drijvende bak	38

blz.

	2.4.4	Bewerking van de gegevens bak gemaal - drijvende bak	38
	2.4.5	Bewerking van de gegevens bak terrein - drijvende bak	42
	2.4.6	Bewerking van de gegevens van de drijvende bak en de Penmancijfers	42
	2.5	Nabeschouwing en kritische evaluatie	55
Aanhangsel	2.1	Het Flevo-project	57
hoofdstuk 3		Verdampingsmetingen volgens de methode van het verticale damptransport en de methode van de energiebalans (drs. J.Q. Keijman)	61
	3.1	Theorie	61
	3.2	Metingen	64
	3.3	Discussie	70
hoofdstuk 4		De bepaling van de grootte der verdamping uit de Rottegatspolder volgens de methode van de waterbalans (ir. G.E. Arnold)	79
	4.1	Algemeen	79
	4.2	Waarnemingen en waarnemingsresultaten	81
	4.3	Verdamping	93
	4.4	Bespreking van de resultaten en enkele conclusies	96
	4.5	Kritische kanttekeningen	97
Aanhangsel	4.1	Jaarsommen neerslag Rottegatspolder 1953-1971	99
"	4.2	Overzicht van de beschouwde elementen van de waterbalans	103
"	4.3	Samenvatting van de voor de Rottegatsplder c.a. berekende verdamping	107
hoofdstuk 5		Bepaling van de grootte van de verdamping en van andere posten van de waterbalans van de gronden in de Rottegatspolder door het statistisch en grafisch onderzoek van grondwaterstands- en vochtgehaltegegevens (ir. T. van Keulen en ir. P.J.T. van Bakel)	109
	5.1	Inleiding	109
	5.2	De statistische methode	109
	5.2.1	Resultaten	110
	5.3	De grafische methode	111
	5.3.1	Theorie	111
	5.3.2	Grafische bewerking	112
	5.3.3	Resultaten	113

blz.

hoofdstuk 6	Verdampingsberekeningen op het lysimeterstation van het ICW voorheen (CILO) te Wageningen en het drainage-lysimeterveld in de Rottegatspolder (ir. P.J.T. van Bakel en ir. T. van Keulen)	125
6.1	Inleiding	125
6.2	De verdamping uit de verdampingsbakken	126
6.3	De verdamping uit de met gras begroeide lysimeters	130
6.4	Vergelijking met de verdampingscijfers van het drainage-lysimeterveld in de Rottegatspolder	132
hoofdstuk 7	Berekening van de termen van de waterbalans en van de grondwaterstand volgens de methode van dynamische digitale simulatie (drs. G.F. Makkink en ing. H.D.J. van Heemst)	137
7.1	Inleiding	137
7.2	1957 - 1960	137
7.3	1961 - 1964	140
7.4	1965 - 1971	141
7.5	Conclusie	144
hoofdstuk 8	Samenvatting	155
bijlage	Overzicht van de gebruikte symbolen en afkortingen	159
Nawoord		165
Literatuur		167

Hoofdstuk 1. VERDAMPINGSONDERZOEK IN NEDERLAND 1942-1971.

1.1 INLEIDING

Reeds halverwege de negentiende eeuw werden door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) onder leiding van Buys Ballot in Den Helder en Utrecht metingen verricht aan een vrij opgestelde verdampingsbak. Ook heeft het KNMI omstreeks 1860 gedurende enkele jaren kleine lysimeters gebruikt om de verdamping van gras te bepalen.
In 1897 verscheen van A. Elink Sterk in de verhandelingen van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs een publicatie getiteld: 'Over regen, verdamping en kwel in de Haarlemmermeerpolder'.
In 1932 ontstond door de afsluiting van de Zuiderzee de mogelijkheid om onderzoek te verrichten naar de verdamping van een vrij wateroppervlak. Ter voorbereiding van dit onderzoek werd in begin 1932 het te gebruiken instrumentarium in een proefopstelling ondergebracht in de uitgestrekte watervlakte 'het Zwin' in de polder 'het Noorden' op Texel. In begin 1933 werd de definitieve opstelling gerealiseerd bij het eiland Schokland. Deze opstelling werd na het droogvallen van de Noordoostpolder in 1940 naar Urk overgebracht.
In het begin van de veertiger jaren was de hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat in de directie Benedenrivieren geïnteresseerd in de lokale klimatologische verschillen in Nederland. Als vervolg op de door hem hierover met de hoofddirecteur van het KNMI gevoerde bespreking, waarbij ook het vraagstuk van de verdamping ter sprake kwam, stelde dr. H.G. Cannegieter een voorlopig werkplan op. Dit voorlopige werkplan is voor wat de verdamping betreft nader uitgewerkt in de nota 'Nadere onderzoekingen inzake de Verdamping' (1942). Hierin wordt het belang van een nauwkeurige kennis van de verdamping gestipuleerd. En niet alleen uit wetenschappelijk oogpunt, doch ook uit het oogpunt van de grote betekenis die de verdamping bezit voor de waterhuishouding van Nederland. Wat het laatste betreft zou een nauwkeurige kennis van de verdamping tot betere kennis van de kwel leiden.
In deze nota wordt voorgesteld om de verdamping, te bepalen via een vijftal methoden, aan een nader onderzoek te onderwerpen. De methoden kunnen zowel direct, als indirect zijn.

Directe methoden:
a. Verdampingsbak.
b. Lysimeter.

Indirecte methoden:
c. Waterbalans.
d. Verticaal damptransport.
e. Energiebalans.

Ad a. De waarnemingen met verdampingsbakken dienen verfijnd te worden ter verbetering van de kennis betreffende de verdamping van een vrij wateroppervlak. Dit onderzoek wordt voorbehouden aan de Dienst der Zuiderzeewerken.

Ad b. De waarnemingen aan lysimeters met verschillende begroeiingen dienen te worden uitgebreid. Dit onderzoek zal worden ondergebracht bij landbouwinstituten.

Ad c. De waterbalans moet voor belangrijk meer gebieden dan tot nu toe worden opgesteld. Teneinde onderlinge controle mogelijk te maken tussen de verschillende methoden moeten in de te selecteren gebieden naast de waterbalans ook het verticale damptransport en de energiebalans worden toegepast. De waterbalansmethode wordt voorlopig toebedacht aan de Rijkswaterstaat.

Ad d. Het verticale damptransport lijkt een veelbelovende methode. Deze methode zal evenals die van ad e. door het KNMI ter hand worden genomen.

Ad e. De energiebalansmethode is in 1942 nog maar nauwelijks ontwikkeld, maar wordt beschouwd als reserve voor het geval de methode van het verticale damptransport niet tot bevredigende resultaten zal leiden.

Tenslotte wordt voorgesteld om voor de keuze en de inrichting van de meetplaatsen overleg te voeren met de Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat.

1.2 INSTELLING VAN DE WERKCOMMISSIE VOOR VERDAMPINGSONDERZOEK.

Om het in de nota "Nadere onderzoekingen inzake de verdamping" uitgewerkte onderzoeksplan van de grond te brengen wordt op 12 oktober 1942 de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek ingesteld. Hierin zijn vertegenwoordigd:
- de Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat, thans de directie Waterhuishouding en Waterbeweging;
- de Dienst der Zuiderzeewerken, thans de directie Zuiderzeewerken van de Rijkswaterstaat en
- het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

De commissie wordt spoedig aangevuld met vertegenwoordigers van:
- het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut TNO,
  thans het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en
- de Cultuurtechnische Dienst, thans de Landinrichtings-
  dienst.

In 1950 wordt de commissie verder uitgebreid met een vertegenwoordiger van het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek, later het Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen en thans het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek. Dit instituut voerde in Wageningen een gewasverdampingsonderzoek uit met behulp van weegbare lysimeters. Toen deze lysimeters in 1957 overgingen naar het instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen kreeg ook dit instituut een vertegenwoordiging in de werkcommissie.

1.3 TAAK VAN DE WERKCOMMISSIE.

De werkcommissie stelde zich twee taken, te weten:
- de verfijning van de directe verdampingsmetingen ter verbetering van de kennis van de verdamping van een vrij wateroppervlak;
- het naast elkaar toepassen van de waterbalansmethode, de lysimetermethode, de methode van het verticale damptransport en te zijner tijd die van de energiebalans in een nog uit te zoeken polder ter verbetering van de kennis van de verdamping van het bodemoppervlak.

1.4 KEUZE VAN DE ONDERZOEKSOBJECTEN.

Voor de verfijning van de directe verdampingsmetingen ter verbetering van de kennis van de verdamping van een vrij wateroppervlak viel de keus op het IJsselmeer.
Dit lag voor de hand omdat een meer nauwkeurige kennis van de verdamping van het IJsselmeer van groot belang is, aangezien deze, in droge zomers, mede de hoeveelheid water bepaalt die beschikbaar is voor inlating in de omringende gebieden.
Voorts kon worden voortgebouwd op het sinds begin 1933 bijeen gebrachte gegevensbestand inzake de verdamping.
Voor de bestudering van de verdamping volgens verschillende methoden moest een polder worden gevonden. Voor dit doel werden door de provinciale waterstaatsdiensten 61 polders geschikt geacht.

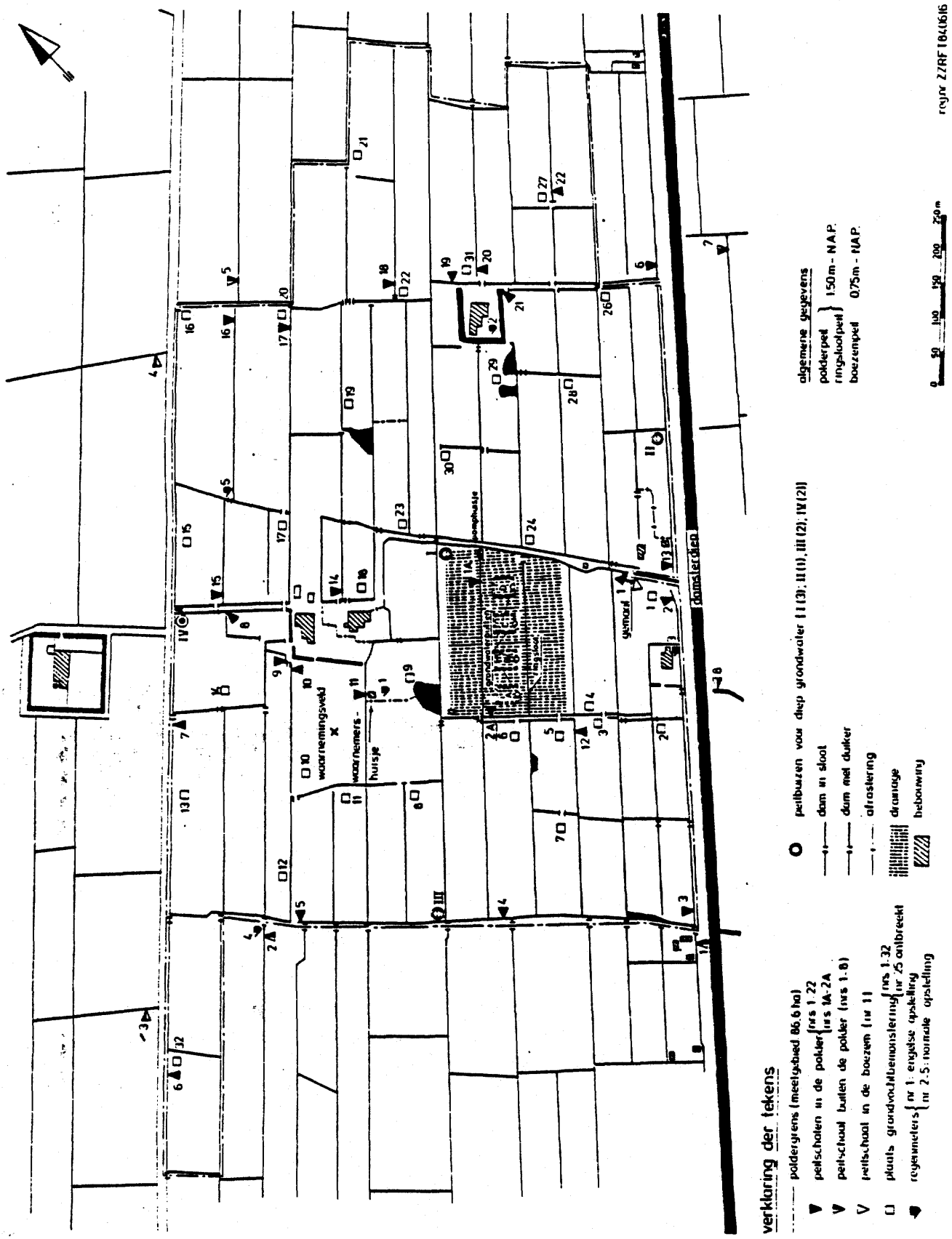
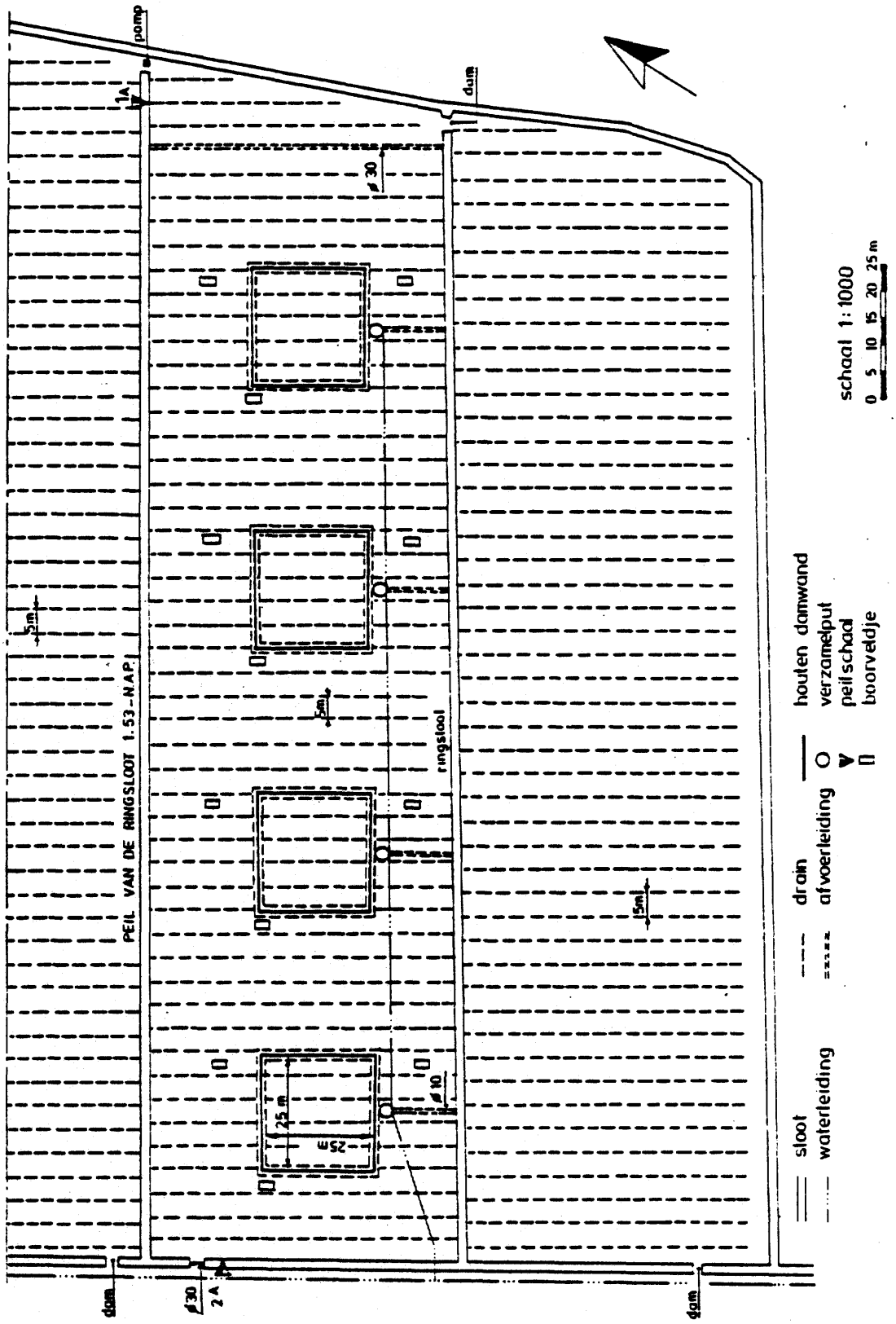


fig. 1.1 Overzicht Rottegatspolder. Situatie 1947.



reg nr ZZRT840617

fig. 1.2 Drainage-lysimeterveld.

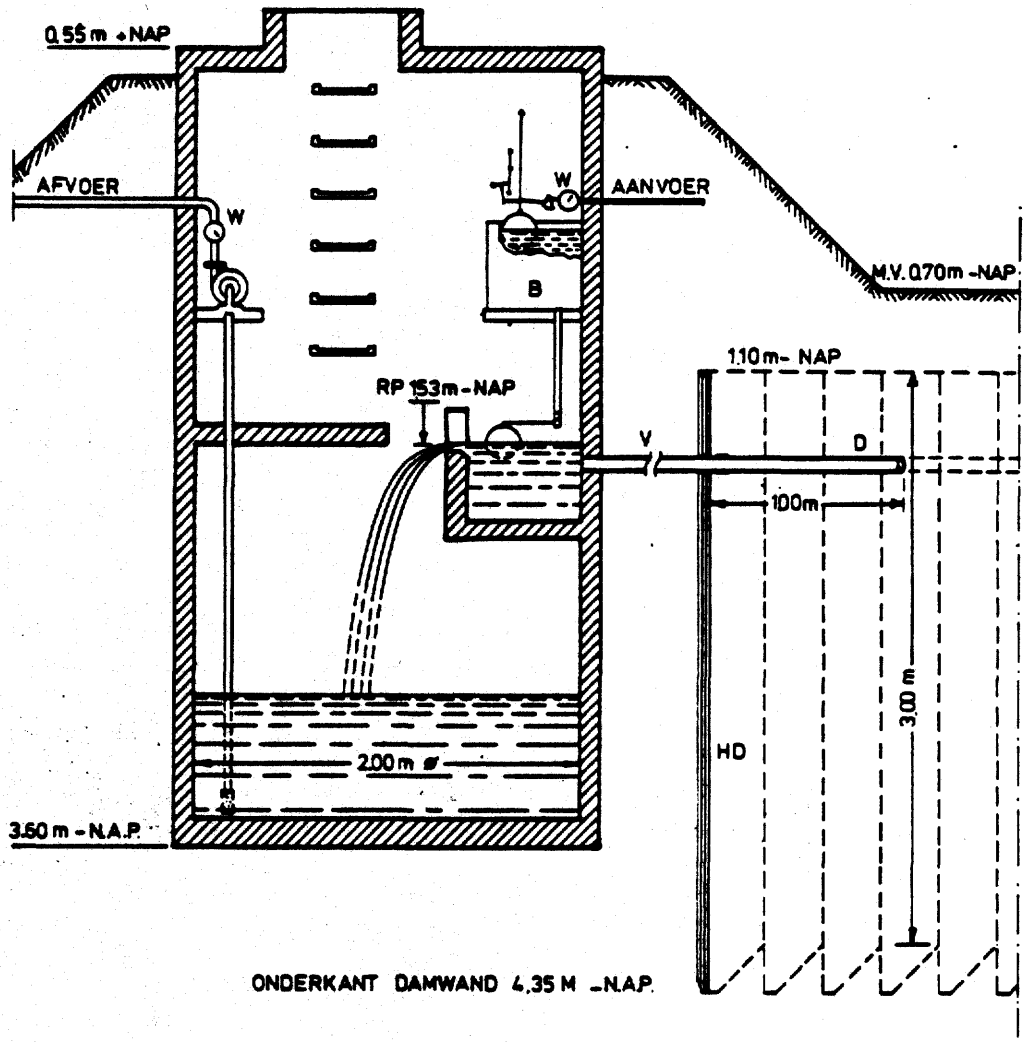
Nauwkeurige beschouwing van deze polders liet zien dat slechts 12 polders voldeden aan de door de commissie geformuleerde eisen, te weten:
- één polderpeil;
- geen of weinig kwel;
- geen bronnen of gasputten;
- geen of slechts enkele clandestiene inlatingen van water;
- de mogelijkheid om de capaciteit van de inlaatmiddelen nauwkeurig te bepalen.

Nadere beschouwing van de waterbalans, speciaal van de post bodemvocht, voegde hieraan nog twee praktische eisen toe:
- de polder moest klein zijn en
- een homogene bodem hebben.

Beide eisen waren nodig om het aantal grondwaterstandswaarnemingen en vochtgehaltebepalingen van grondmonsters te beperken.
Dit resulteerde erin dat uiteindelijk de keus viel op de Rottegatspolder gelegen in de gemeente Ten Boer in de provincie Groningen met een grootte van 83,1 ha.

1.5 INRICHTING VAN DE ROTTEGATSPOLDER.

Voor de toepassing van de methode van het verticaal damptransport was het noodzakelijk zowel de dampspanning, als de windsnelheid op ten minste vier verschillende hoogten boven het terrein vast te leggen. Hiertoe werd door het KNMI een psychrometermast ontwikkeld die op het waarnemingsveldje werd opgesteld. In de nabijheid van dit veldje werd een waarnemingshuisje gebouwd voor de elektrische registratie van de waarnemingen. Dit gebouwtje werd verzonken uitgevoerd om de luchtbeweging in de omgeving van de psychrometermast zo min mogelijk te verstoren.
Voor de bepaling van de diverse posten van de waterbalans werd de nodige apparatuur geplaatst.
Zo werden voor de post:
- neerslag: 5 regenmeters verspreid over de polder aangebracht;
- kwel : 4 diepboringen uitgevoerd en als blijvende waarnemingsputten afgewerkt. De centrale boring was ca. 50 m diep en bevatte 3 filters, de andere drie hadden een minimumdiepte van 20 m en waren voorzien van 1 of 2 filters;
- toename van het in het oppervlaktewater geborgen water: een uitgebreid aantal peilschalen geplaatst;
- toename van het in de grondgeborgen water: op ruime schaal landbouwbuizen aangebracht.



B _ buffertank

HD_ houten damwand

MV_ maaiveld

RP _ ringslootpeil

V _ verbindingsbuis

W _ watermeter

reg. nr. ZZRFT 840618

fig. 1.3 Aan- en afvoerput.

Voor de juiste plaatsing en aantallen wordt verwezen naar figuur 1.1.
Omdat de methode van het verticale damptransport de verdamping geeft voor het gewas op het waarnemingsveld en de methode van de waterbalans de resulterende verdamping voor de gehele polder, is onderlinge vergelijking pas mogelijk als inzicht is verkregen in de verdamping van percelen begroeid met andere gewassen dan dat, waarvoor de methode van het verticale damptransport wordt toegepast. Tevens is inzicht nodig in de relatieve oppervlakten van deze gewassen in de polder.
Om inzicht in de verdamping via verschillende gewassen te verkrijgen werden op een perceel van circa 1,5 ha vier lysimetervakken aangelegd, elk groot 25 m x 25 m (zie figuur 1.2).
Dit perceel, het drainage-lysimeterveld alsmede de beide belendende percelen werden gedraineerd. De ringsloot om het drainage-lysimeterveld werd op een constant peil gehouden dat 10 cm boven de drains was gelegen. Hierdoor was in de drie percelen een vast grondwaterpeil gegarandeerd. De drains in elk lysimetervak werden in een ringdrain opgevangen, van waaruit het overtollige water naar een verzamelput (figuur 1.3) kon afvloeien of van waaruit het veld bij vallende grondwaterspiegel van water kon worden voorzien. De hoeveelheden af te voeren of aan te voeren water werden continu gemeten.
Om de door de drainage-lysimetervakken onderbroken drainreeksen opnieuw aan te sluiten werd buiten het lysimetervak eveneens een ringdrain aangebracht.

1.6 DUUR VAN HET ONDERZOEK.

In 1942 begon de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek haar activiteiten. Zij dacht het onderzoek in een aantal jaren af te kunnen ronden. Problemen zouden kunnen ontstaan omdat door de oorlog het vereiste instrumentarium en de benodigde materialen niet beschikbaar waren. Dit had in grote mate invloed op het onderzoek dat aan het KNMI en de Dienst der Zuiderzeewerken was toevertrouwd en in mindere mate op het waterbalansonderzoek. Dit laatste onderzoek zou direct kunnen starten. Een en ander betekende echter dat het totale onderzoek langer zou duren. Het heeft uiteindelijk geduurd tot begin 1971, een duur die bij de start zeker niet was voorzien. Het onderzoek in het IJsselmeergebied beslaat nog een veel langere periode en wel die van 1933 tot 1984.

1.7 RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK.

Over de resultaten van het onderzoek heeft de werkcommissie jaarlijks mededeling gedaan in haar verslagen. In totaal zijn er negentien verslagen verschenen.
Voor het eindrapport werd de gehele onderzoeksperiode nader geëvalueerd.
Zo worden in hoofdstuk 2 de resultaten van het verdampingsonderzoek in het IJsselmeer weergegeven over de periode 1943 tot heden.
In hoofdstuk 3 worden de verdampingsmetingen volgens de methode van het verticale damptransport en de methode van de energiebalans beschreven, die in de periode 1947-1965 hebben plaatsgevonden.
Hoofdstuk 4 behandelt de verdamping uit de Rottegatspolder volgens de waterbalansmethode over de periode 1947-1971.
Hoofdstuk 5 gaat in op de bepaling van de verdamping van de gronden in de Rottegatspolder door het statistisch en grafisch onderzoek van grondwaterstand- en vochtgehaltegegevens.
Hoofdstuk 6 houdt zich bezig met de resultaten van de verdampingsmetingen aan de weegbare lysimeters van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen, voorheen van het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek. Het onderzoek beslaat de periode 1952 t/m 1962.
In dit hoofdstuk wordt tevens een vergelijking gemaakt tussen de Wageningse resultaten en die uit het drainage-lysimeteronderzoek in de Rottegatspolder.
In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de over de periode 1957-1971 door het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek, later het Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen, thans het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek ontwikkelde berekeningsmethoden.
Deze ontwikkelden zich via het primitieve gebruik van grafisch gevonden gewasfactoren tot een gedetailleerde digitale simulatie van het gehele proces van het watertransport van de grond, al of niet, via de gewassen naar de atmosfeer.
Hoofdstuk 8 geeft een samenvatting van het gehele onderzoek.

1.8 BEËINDIGING VAN HET ONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER.

In het begin van de zeventiger jaren vond een centralisatie plaats van polders en waterschappen in Groningen. De Rottegatspolder werd daarbij ondergebracht bij het waterschap Fivelingo. Dat betekende dat de gehele waterhuishoudkundige infrastructuur van de polder moest worden aangepast,

waardoor de consistentie in de waarnemingsresultaten zou verdwijnen.
Even is er nog aan gedacht de polder tijdelijk buiten het op te richten waterschap te houden om op deze wijze een dertigjarige onderzoekperiode vol te maken. De hieraan verbonden kosten waren echter dermate hoog dat hiervan moest worden afgezien.
Het jaar 1971 en een deel van 1972 zijn verder gebruikt om de voor het onderzoek gebouwde opstallen en installaties te amoveren en het terrein weer in de oorspronkelijke staat te brengen.

1.9 SAMENSTELLING VAN DE WERKCOMMISSIE.

Gedurende het bestaan van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek hebben veel leden en hun medewerkers hun krachten gegeven aan het door de commissie verrichte onderzoek. Het is ondoenlijk al deze medewerkers met name te noemen. De samenstelling van de Werkcommissie door de jaren heen is echter terug te vinden in de diverse jaarverslagen.
De Werkcommissie verantwoordelijk voor dit eindrapport had de volgende samenstelling:

Voorzitter:	
Ir. M. Snijdelaar	hoofd afdeling Waterhuishouding van de Rijkswaterstaat in de directie Zuiderzeewerken
Secretaris:	
Mr. Ing. H. ter Horst	technisch hoofdambtenaar van de Rijkswaterstaat in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging
Leden:	
Ir. P.J.T. van Bakel	wetenschappelijk medewerker van de hoofdafdeling Waterhuishouding van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

Ing. H.D.J. van Heemst	medewerker aan het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek CABO
Ir. C.H. de Jong	hoofd afdeling Wetenschappelijke Coördinatie van de Rijkswaterstaat in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging
Drs. J.Q. Keijman	wetenschappelijk medewerker van de afdeling Fysische Meteorologie van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Ir. J.W. van der Made	hoofd van de onderafdeling Algemene Waterkunde van de Rijkswaterstaat in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging
Ir. J. van Malde	hoofd van de Hoofdafdeling Gegevens van de Rijkswaterstaat in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging
Dr. P.K. Peerlkamp	oud hoofd van de afdeling Bodemfysica en Grondbewerking van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Prof. Ir. A. Volker	oud hoofd afdeling Bijzondere Opdrachten van de Rijkswaterstaat in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging

1.10 DANKBETUIGING.

Gaarne wil de Werkcommissie haar dank overbrengen aan de medewerkers te velde zonder wiens grote inzet het onderzoek niet mogelijk zou zijn geweest.
Het betreft hier de heren:
P.L. van der Vlies, coördinator gegevensinwinning en -verwerking,
E. Wieringa en J.A. Wypkema te Ten Boer en
J. Pasterkamp te Urk.
De heer Van der Vlies werd na zijn pensionering opgevolgd door Ing. G.J. Frantsen.

HOOFDSTUK 2: VERDAMPINGSMETINGEN IN DE DRIJVENDE BAK OP HET IJSSELMEER EN IN DE INGEGRAVEN BAK TE URK

2.1 INLEIDING

Bij de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 ontstond de mogelijkheid om onderzoek te verrichten naar de verdamping van een vrij wateroppervlak.
Om vast enige ervaring op te doen met het daarbij te gebruiken instrumentarium werd in begin 1932 een proefopstelling opgebouwd bij het Zwin in de polder 'Het Noorden' op Texel.
De metingen op dit eiland duurden van 1 juni 1932 tot 15 december 1932.
In februari 1933 werd de gehele installatie overgebracht naar het eiland Schokland. Hier werd op 1 april 1933 begonnen met de geregelde waarnemingen van de open water-verdamping. Wegens het droogvallen van de Noordoostpolder moesten deze waarnemingen eind 1940 worden beëindigd.
Om een verdergaand inzicht in het verdampingsmechanisme te krijgen, werden de verdampingsmetingen in augustus 1943 in de haven van Urk opnieuw gestart. De dienst der Zuiderzeewerken die dit onderzoek uitvoerde, bracht zijn kennis en gegevens in bij de inmiddels ingestelde Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek.
In het hierna volgende zal nader worden ingegaan op deze laatste onderzoekperiode te Urk die liep van 1943 tot heden.

2.2 HET VERDAMPINGSONDERZOEK TE URK VAN AUGUSTUS 1943 TOT HEDEN

2.2.1 Beschrijving van het waarnemingsstation

De drijvende bakken waren geïnstalleerd in de werkhaven, terwijl een tweetal bakken zich incidenteel op ca. 2 km afstand in het open IJsselmeer bevonden.
In augustus 1948 wordt het waarnemingsstation uitgebreid met een meteorologische hut en een ingegraven verdampingspan op een terreintje tussen het gemaal en de schutsluis (zie figuur 2.1).
In augustus 1949 wordt de meteorologische hut op verzoek van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te De Bilt verplaatst naar de kruin van de havendam bij het gemaal, omdat beïnvloeding van de waarnemingen door de aanwezigheid van gemaal en sluis, alsmede door de aanwezigheid van struikgewas in de nabijheid van de hut hoogst waarschijnlijk was. De verdampingsmetingen worden echter voorlopig ter plaatse voortgezet. Wel ligt het in de bedoeling

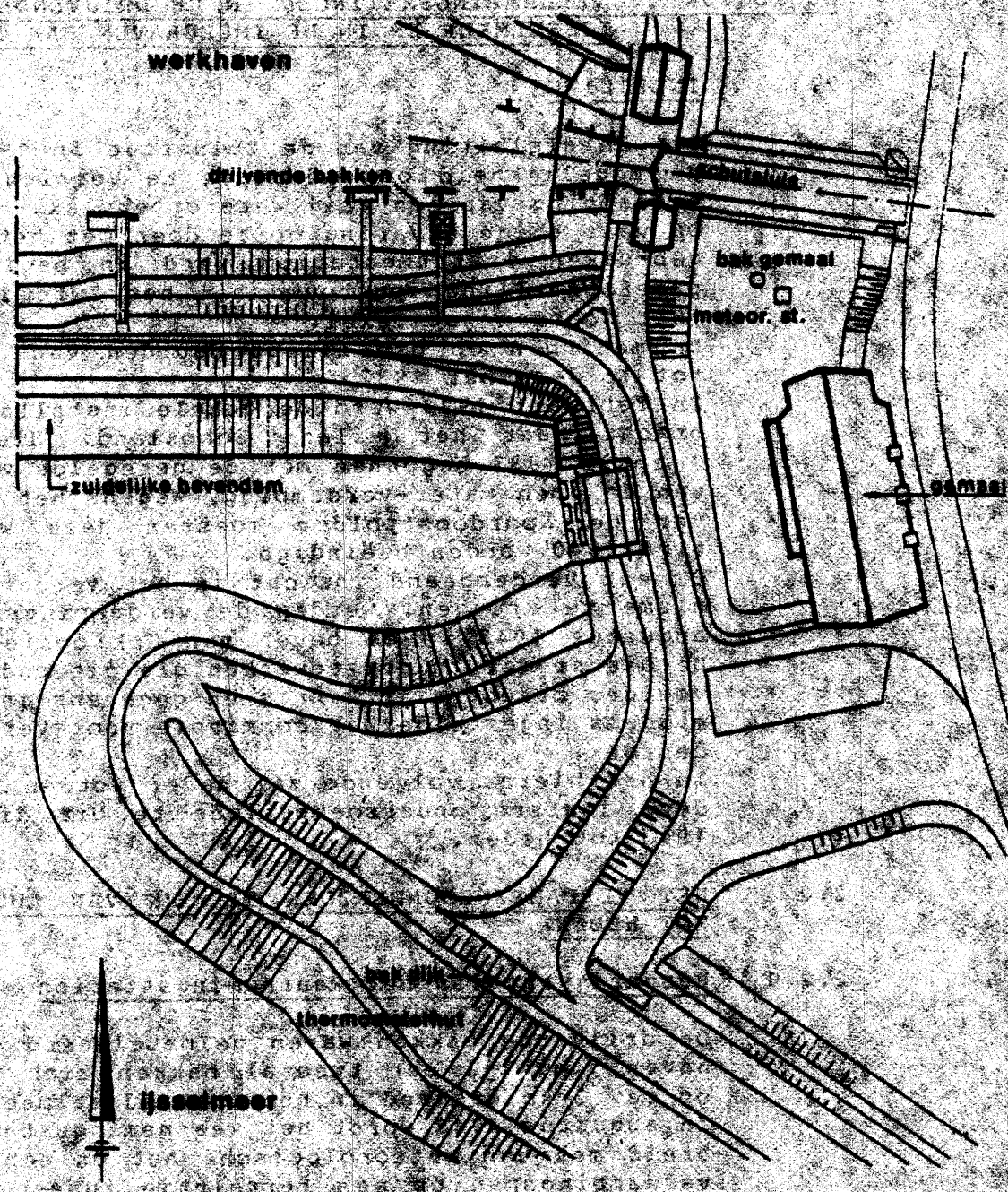


fig. 2.1 situatie verdampingsbakken te Urk

een tweede ingegraven pan nabij de nieuwe locatie van de meteorologische hut te installeren, waarna gedurende enige tijd simultane waarnemingen op beide plaatsen zullen worden uitgevoerd, om de in 1948 aangevangen waarnemingsreeks te kunnen blijven gebruiken. In juli 1951 wordt aan dit voornemen uitvoering gegeven (zie figuur 2.1).
Omdat deze tweede bak op de kruin van de polderdijk meer is blootgesteld aan de wind dan de bak gemaal kan zij gebruikt worden om de invloed op de verdamping van de expositie ten opzichte van de wind te onderzoeken.
In juli 1959 wordt het waarnemingsstation op de kruin van de havendam verplaatst naar een veldje binnendijks ten zuidwesten van het gemaal (zie figuur 2.2).
Aangezien de overeenstemming in de waarnemingen aan de beide drijvende verdampingsbakken zo groot is, dat met één bak kan worden volstaan, wordt op 1 maart 1960 één verdampingsbak vervangen door een drijvende regenmeter van dezelfde afmetingen (fig. 2.3). Gelijktijdig wordt een identieke regenmeter naast de bak terrein ingegraven.
De figuren 2.4 en 2.5 geven een beeld van de situering van het oude en nieuwe waarnemingsstation.
De foto's geven een impressie van de toestand in 1982.

2.2.2 Het instrumentarium

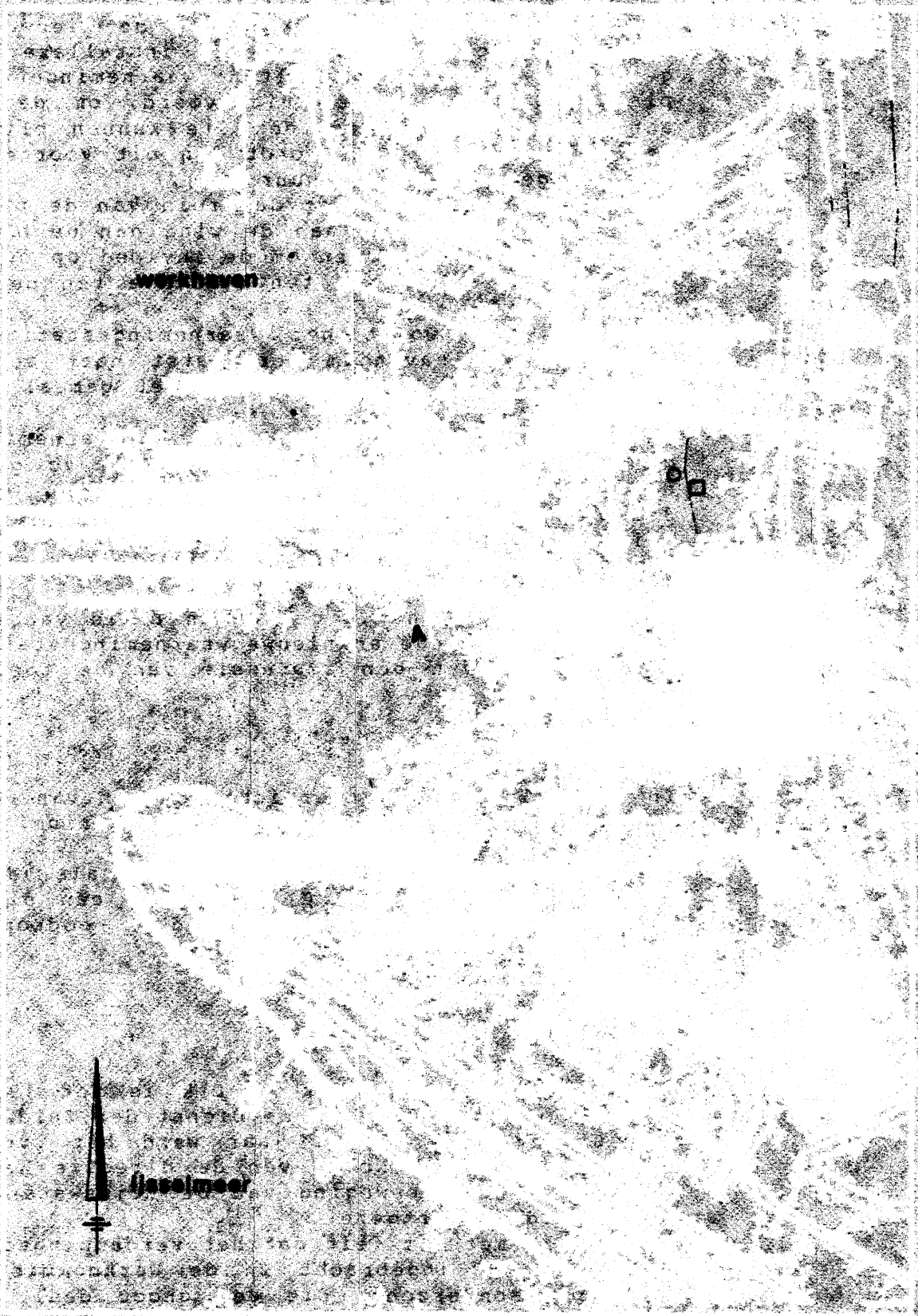
In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van het in de onderzoekperiode gebruikte instrumentarium.

De afmetingen van de drijvende zowel als van de ingegraven bakken waren Ø 50 cm met een diepte van 20 cm. De bakken waren uitgevoerd in roodkoper.

2.2.3 Het onderzoek

2.2.3.1 Inleiding

Het verdampingsonderzoek te Urk is tot 1976 onder verantwoordelijkheid van de Dienst der Zuiderzeewerken uitgevoerd. In dat jaar werd het overgenomen door het District-Noord van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat en tot op heden voortgezet.
In verband met het feit dat het verdampingsonderzoek te Urk wordt ingebracht in de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek, die een groot deel van haar activiteiten aan het onderzoek in de Rottegatspolder in Groningen wijdde, welk onderzoek in februari 1971



2 tu k

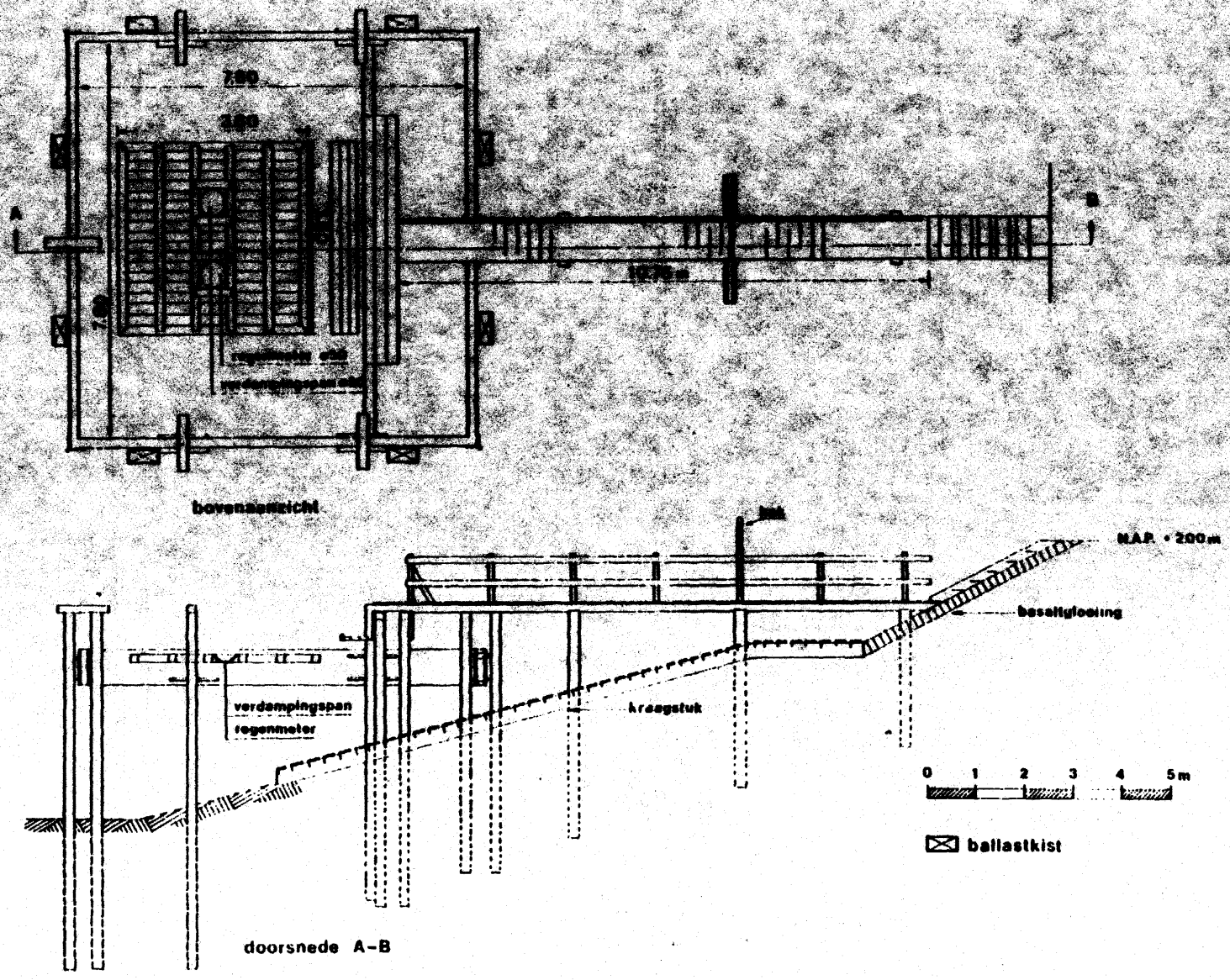
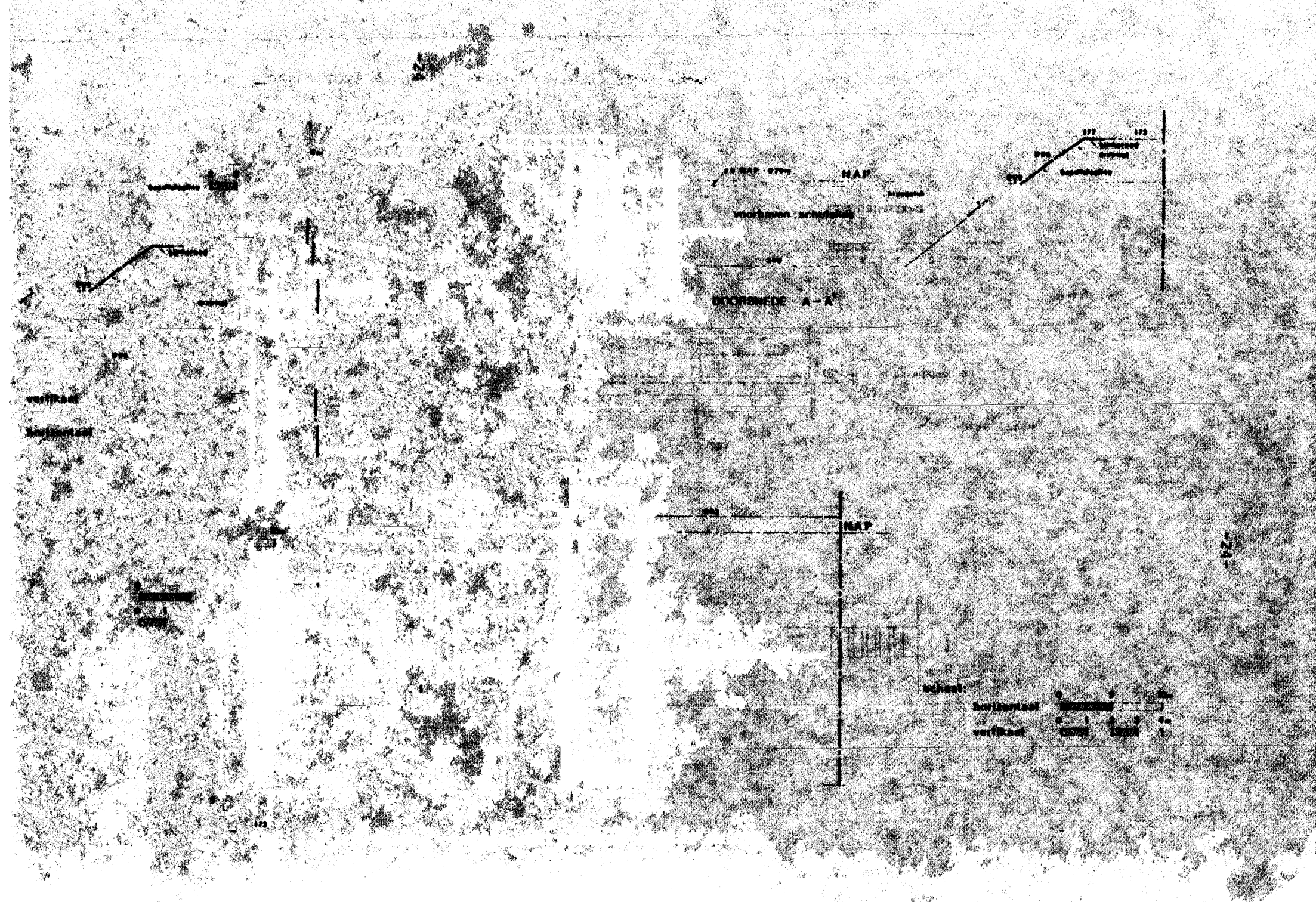


fig. 2.3 Opstelling drijvende bakken te Urk


HAP
voorhaven archeologie
DOORSNEDE A – A'
HAP
schaal:
horizontaal
verticaal

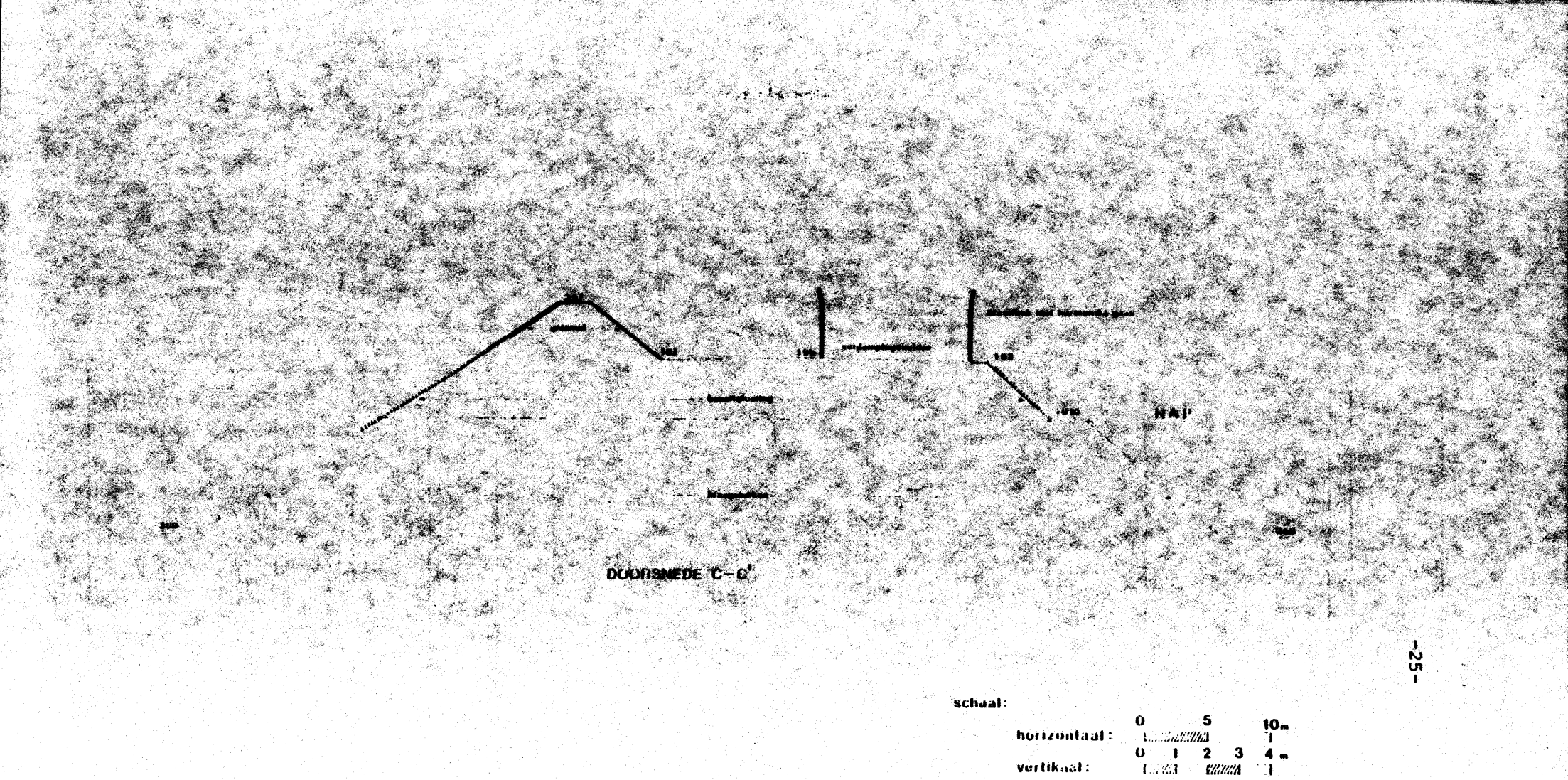


fig. 2.5 Doorsneden over de waarnemingslokaties te Urk

n	Meteorologische hut	bak	ongegr.	ver	Rege Ingegrav	..opstelli	A op land	op vlot
	x							
	x							
	verplaatst 1) 490813							
	x							
	x							
	x		520020					
			x					
	x		x					
	x	x	x					
	x	x	x					
	x	x	x					
	x	x	x					
		x	x					
						x		
x	x					x		wi
	x		x		x	x		
x	x	x	x	x	x	x		
x	x	x	x	x	x	x		
x	x	x	x	x	x	x		

zijn elk uitge ... met een ... de ... t uit ... ter

werd beëindigd, zal waar nodig in dit hoofdstuk verslag worden uitgebracht over zowel de periode 1943-1971, als over de periode 1943-1982.

2.2.3.2 Verdampingsonderzoek aan drijvende en ingegraven bakken

Gedurende de jaren 1943 tot en met 1982 is de verdamping bepaald met behulp van de drijvende bakken in de werkhaven van Urk, alsmede met behulp van de op het land ingegraven bak.

2.2.3.3 Vergelijkend onderzoek aan drijvende bakken ('buiten' - 'binnen')

In de eerste vijf verslagperioden werden ten einde een nader inzicht te verkrijgen in de invloed van de opstellingsplaats bij de verdampingsmetingen voor het IJsselmeer simultane waarnemingen verricht in een tweetal drijvende bakken in de haven van Urk (binnen) en in twee overeenkomstige bakken in het IJsselmeer op ca. 2 km afstand van Urk (buiten). In de derde verslagperiode werd deze afstand teruggebracht tot ca. 800 meter.
Het lag in de bedoeling deze waarnemingen uur voor uur tijdens een groot aantal dagen te verrichten en naast de verdamping ook de lucht- en watertemperatuur te bepalen.
Het bleek echter dat deze metingen alleen bij stil weer mogelijk waren, omdat bij enige wind de bakken vol spatten. Van het voornemen kwam dan ook weinig terecht zoals blijkt uit tabel 2.2.

Tabel 2.2. Aantal dagen waarop de simultane metingen mogelijk waren

Verslag-periode	Verslagjaar	Aantal dagen
1	421012 - 471001	1,5
2	471001 - 481005	-
3	481005 - 491004	6
4	491004 - 501002	-
5	501002 - 511004	-

Na deze teleurstellende ervaringen verdween dit onderzoek geruisloos uit de rapportage.

2.2.3.4 Vergelijkend onderzoek aan bak gemaal en bak dijk

Ten einde het verband vast te leggen tussen de b gemaal en de bak dijk en mogelijk hieruit conclusies te kunnen trekken ten aanzien van de invloed van de expositie van de bak ten opzichte van de wind op de verdamping vond vanaf juli 1951 tot juni 1959 e vergelijkend onderzoek plaats tussen de ingegrav bakken bij het gemaal en op de kruin van de havenda bij het gemaal.

2.3 HET WAARNEMINGSMATERIAAL

2.3.1 Aanvulling onvolledig waarnemingsmateriaal

Bij drijvende bakken is het onmogelijk om volledig waarnemingsreeksen te krijgen. Ten eerste zullen de bakken in de periode november-april uit het water genomen moeten worden. Ten tweede zullen de waarnemingen onbetrouwbaar zijn op dagen met storm, harde wind of hevige regens omdat dan gemakkelijk water vanuit het meetvat of de bak kan spatten en/of stromen. Ook de ingegraven bakken leveren onvolledige reeksen op ten gevolge van het in- en uitspatten van water bij hevige regens.
Om de onvolledige reeksen aan te vullen is gedurende het onderzoek gebruik gemaakt van de formule voor de verdamping van open water gebaseerd op de wet van Dalton:
Soms wordt de vereenvoudigde vorm $V_u = c_1(e_s - e_a)$ soms de uitgebreide vorm: $V_u = c_1(1+0,25v)(e_s - e_a)$, toegepast.

Hierin is:
V_u = de uursom der verdamping in mm
c_1 = constante
v = windsnelheid in m/sec
e_s = verzadigingsdampdruk bij de watertemperatuur in de bovenste 5 cm in mm Hg
e_a = werkelijke dampdruk van de lucht in mm Hg.
In welke verslagperiode dit gebeurde is aangegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3 Toepassing Daltonformule

Verslag-periode	Verslagjaar	Daltonformule	
		vereenvoudigd	uitgebreid
1	421012 - 471001		x
2	471001 - 481005	x	
3	481005 - 491004		x
4 t/m 19	491004 - 710202	x	

Vanaf de 4e verslagperiode werd overgegaan op de vereenvoudigde Daltonformule.

Als redenen hiervoor werden aangevoerd:
- dat niet de windsnelheid, doch de turbulentie de verdamping beïnvloedt, en
- dat uit het onderzoek de aanwijziging gevonden was dat alleen geringe windsnelheden de verdamping zullen beïnvloeden.

Omdat geringe windsnelheden in het IJsselmeergebied vrijwel niet voorkomen is dan ook geen betere benadering van de verdamping door uitbreiding van de Daltonformule te verwachten.
Om een indruk te geven van het aantal dagcijfers dat met de Daltonformule werd berekend en, waar dit niet mogelijk was, werd geschat, is tabel 2.4 samengesteld.

Situatie verdampingsstation Ork

Waarnemingsveldje te Ork

Opstelling drijvende bak

Bak Terrein

Drijvende Bak (meetbrug)

Tabel 2.4 Totaal aantal verdampingsgegevens in verslagperiode*

Verslag periode	Verslagjaar	drijvende bak	bak gemaal	bak dijk	bak terrein
3	481005 - 491004	183 (34)			
4	491004 - 501002	235 (87)	365 (121)		
5	501002 - 511004	235 (94)	365 (127)		
6+7	511004 - 531027	480 (159)	639 (242)	643 (247)	
8	531027 - 541103	286 (102)	296 (76)	296 (70)	
9	541103 - 551201	228 (47)	304 (71)	304 (68)	
10	551201 - 561207	240 (84)	275 (75)	283 (60)	
11	561207 - 571206	256 (54)	331 (81)	333 (58)	
12	571206 - 581205	253 (50)	268 (30)	294 (38)	
13	581205 - 591204	263 (35)	169 (23)	175 (20)	172 (14)
14	591204 - 601208	288 (44)			363 (43)
15	601208 - 621207	570 (67)			682 (84)
16	621207 - 650112	540 (51)			571 (39)
17	650112 - 670106	542 (30)			627 (54)
18+19	670106 - 710202	1102 (72)			1264 (94)

*Hiervan is het aantal berekende of geschatte waarden tussen haakjes weergegeven.

ALEN VERDAMPING DRIJVENDE BAKKEN TE URK ten of af leide waarden

1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
													23
	72	70	62	60*	65	76	71	60*	65	82	56	67	79
118	116	97	84	96	119	106	106	91	98	104	80	131	
124	140	128	110	128	114	105	110	102	109	135	109	151	142
153	114	122	100	110	133	131	98	132	94	133	109	135	118
149	113	86	96	97	98	105	73	106	83	98	94	116	88
82	71	74	54	75	84	72	69	73	47	54	79	97	62
49	44	39	37	48	34	34	27	25	39	33	32	44	38
			12			18					17		21
	648	616						3	35	639	559	741	6
1965	1966	1	1			1971				5		10	1979 1980
							3						
							3						
		36			38		31	26	23			27	37 13 18 14
		6	72	59	50		60		81				62 57 84
		115	85		97		96	91	94	116*	1	113	89 89 121
1		146	104		7		104	132	24	149*	14	93	120 112 2
		138	119						15	124	169	128	95 104 2
		97	87	110	1		1			139	127	88	108
57	70	48		75						72	61	73	8
33	32	41		30						41	35	29	
		17		29	29						14	25	2
									9		4	3	3 4
588	615	614		590	621	39	5		9	701	743		503 501 572 — 6 614

diverse verslagen letwat verschillende waarden: met name die van 948. De r hiervoor is

elatie met bak-gemaal.

Tabel 2.6 MAANDTOTALEN VERDAMPING INGEGRAVEN BAKKEN TE UNK (in mm)

maand	1948 G.	1949 G.	1950 G.	1951 G.	1951 D.	1952 G.	1952 D.	1953 G.	1953 D.	1954 G.	1954 D.	1955 G.	1955 D.	1956 G.	1956 D.	1957 G.	1957 D.	1958 G.	1958 D.	1959 G.	1959 D.	1960 T.——→	1961	1962	1963
januari		23	8	7																					
februari		16	14	10		16	18																14		6
maart		35	33	22		31	40															29	32		
april		79	64	99	72°	65	78	76	88	66	72	34	60	52	69	69	80	49	66	56	77	70	47	56	62
mei		103	90	97	107°	130	133	111	118	115	121	95	105	83	90	94	108	76	90	118	128	93	98	89	81
juni		127	142	144	160°	119	128	111	115	93	111	106	124	87	112	120	152	92	112	151	168	133	115	124	119
juli		133	115	115	115	143	160	141	187	93	110	113	140	83	109	109	134	103	132	T.147	175°	110	112	102	118
augustus	110	108	99	87	94	105	117	118	138	64	76	85	108	71	101	85	104	79	101	108	125°	83	89	100	93
september	71	62	58	62	76	68	98	55	77	58	77	49	73	33	45	56	73	61	74	85	101°	52	56	66	66
oktober	37	34	38	36	48	30	39	24	33	29	37	23	34	30	44	32	39	27	35	50	62°	30	35	34	36
november	16	16	13	31	38			18	25	18	28											23	16	15	25
december	10	12	6	27	27			15	16	15	21														
april t/m oktober		646	606	598	672	660	753	636	756	518	604	525	644	439	566	565	690	487	610	715	836	574	552	571	575

maand	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
januari									2		11	19	8		11			7	
februari		14		23	12			23	3		17	12	4	18	1		5	5	
maart				50	41		29	24	38	24	30	26	44	37	33	22	27	29	39
april	56	51	43	68	70	68	52	60	58	56	78	53	82	61	64	56	63	68	73
mei	109	82	122	106	83	75	94	102	91	85	90	103	126	107	87	93	127	103	101
juni	114	101	122	107	100	111	152	107	96	130	119	138	147	84	116	116	91	98	105
juli	109	103	109	121	107	109	103	126	98	117	113	138	161	118	102	95	87	107	134
augustus	99	97	102	93	85	108	97	103	101	115	105	168	125	72	99	83	96	93	114
september	71	52	63	46	56	64	65	64	62	58	59	83	55	58	70	69	65	-	60
oktober	30	27	25	46	26	28	31	37	32	25	29	39	28	23	29	30	42	40	33
november	13		15	18	15	26	24	16	19	15	15	14	14	21	18	16	12	23	23
december		16	13	13				9	8	8	18	6	5	6	1	11	8	7	15
april t/m oktober	588	513	586	587	526	563	594	599	538	586	593	722	724	523	567	542	571	-	620

Meetperiode:
G. = bak gemaal 8-'48 tot 7-'59
D. = bak dijk 7-'51 tot 6-'59
T. = bak terrein 7-'59 tot heden

In de rapportage over het verdampingsonderzoek wordt de reeks cijfers van de bak G voortgezet door de reeks van bak T; de cijferreeks van bak D staat op zichzelf.

MAANDTOTALEN NEERSLAG TE URK (in mm)

1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
53	116	3		27			50	66	63	39			58	4	53	63	7	19
14	47			33			50	14	40	47			26	61	21	27		57
65	11	44		69				63					38	35	38	55	88	92
101	59	32		39				24					103	34	40	47	57	59
38	76			23			56	82					39	24	62	54	28	58
91	25	1		48			91	63					84	87	161	55	69	50
86	80			68			85	115						46	167	89	64	122
40	116						95	39						2	68	88	81	77
46	72	1	27					21		96				86	133	100	58	48
	66	132	20	127									25	47	147	72	32	99
	28	75	46	67								3	63	67	97	1	76	14
467							535	420	581	473	332	1		314	669	558	442	465

1968	1969		1972	1973		1	1977	1978		19		1	kwa. over 48
36	69	5	38	31	25	53			39				61
82	85	36	62	108	36	80	39	31	64	5	3	1	49
57	33		61	41	39	19	47	87	31	84	95	49	123	70	46
104	43	28	79	91	73	46	17				63	37	14	31	45
37	36	112	39	13	39	37	30				92	16	55		32
153	24	95	81	16	51	26	35		24		105	82	72	1	69
119	30	120	48	140	116	114	104		23	62	34	152	51		81
70	81	151	203	33	83	64	83		28	82	70	33	32		85
40		116	7	84	37	101	119		76	42	81	47	26	49	68
84	1	93		94	39	106	30		38	48	37	39	80	1	63
112		38				85				159		85			79
146		34									11	124			70
567	460	674	584			534						1	425	396	456

454

2.3.2 De onderzoeksresultaten

2.3.2.1 Verdampingsonderzoek aan drijvende en ingegraven bakken

De in de verslagperiode verzamelde dagcijfers voor de verdamping zijn gesommeerd tot maandtotalen.
De resultaten verkregen met de drijvende bakken zijn weergegeven in tabel 2.5; die verkregen met de ingegraven bakken in tabel 2.6.
In tabel 2.7 zijn tenslotte de maandtotalen van de neerslag te Urk verzameld.
Bestudering van het verzamelde materiaal laat zien dat de verdamping van de drijvende bak en de bak terrein in de periode 1960-1982 met elkaar in fase zijn. Dit resultaat is ook wel te verwachten dank zij de grote turbulentie in het water en de relatief geringe warmte-inhoud van het meer.
Over het algemeen wordt meer verdamping geconstateerd (figuur 2.6) met de drijvende bak dan met de ingegraven bak. In de periode 1960-1982 werden de volgende resultaten gevonden.

Tabel 2.8 Het aantal malen dat met de betrokken verdampingsbak meer verdamping werd gemeten.

Maand	Drijvende bak (D)	Ingegraven bak (I)	D = I
April	14 [1]	8	1
Mei	17 [2]	5	1
Juni	20 [3]	3	-
Juli	16	7	-
Augustus	20	2	1
September	21	1	
Oktober	19	3	1

1) inclusief 2 geschatte waarden.
2), 3) inclusief 1 geschatte waarde.

Mogelijk is dit een gevolg van het feit dat de gemiddelde watertemperaturen, zeker in de zomermaanden, altijd hoger zijn dan de gemiddelde luchttemperaturen.
Nader onderzoek naar de relatie ingegraven bak - drijvende bak zal in paragraaf 2.4 plaatsvinden.

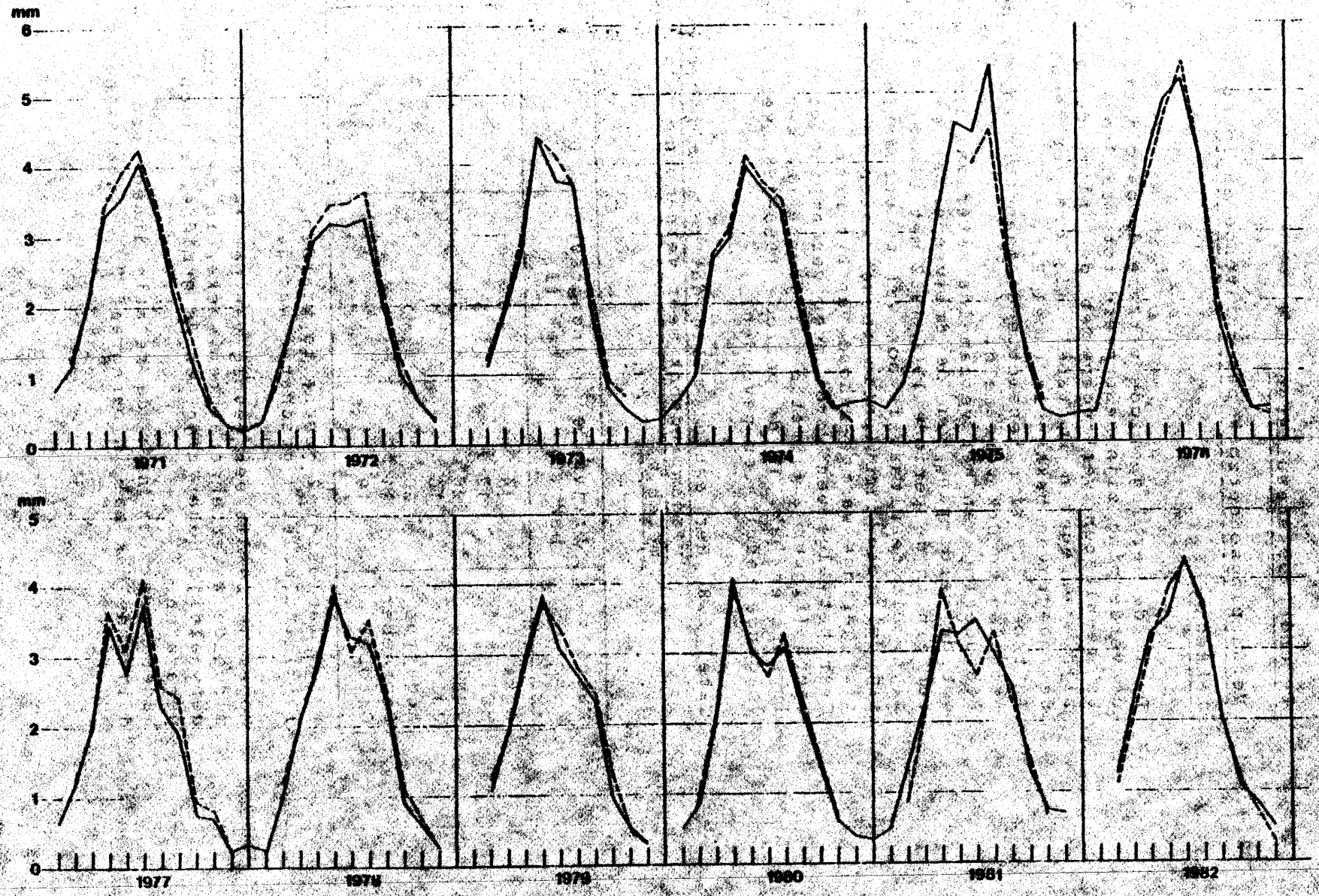


fig. 2.6 Gemiddelde verdamping per etmaal in mm

——— ingegraven bak

- - - - drijvende bak

2.3.2.2 Vergelijkend onderzoek aan drijvende bakken ('buiten' - 'binnen')

De in de eerste periode gedurende anderhalve dag verzamelde gegevens vertonen voor de twee bakken binnen, zowel als voor de twee bakken buiten een goede overeenstemming.
Tussen de bakken buiten en bakken binnen bestaan echter karakteristieke verschillen waarvoor door gebrek aan gegevens nog geen verklaring kan worden gegeven.
In de derde verslagperiode zijn opnieuw gedurende 6 dagen metingen uitgevoerd. Tijdens deze reeks waarnemingen is 'buiten' vrijwel steeds meer verdamping gemeten dan 'binnen' hoewel de watertemperatuur 'buiten' meestal lager was.
De conclusie luidde dat het niet onmogelijk was dat dit fenomeen te wijten zou zijn aan de invloed van de wind.
Bij windstil weer zal boven het IJsselmeer altijd nog wel enige luchtbeweging zijn in tegenstelling tot boven de bakken in de haven van Urk.

2.3.2.3 Vergelijkend onderzoek aan bak gemaal en bak dijk

Hoewel beide bakken voor dit doel geplaatst waren, werd alleen in het verslag over 1951 enige aandacht aan dit onderzoek besteed. De periode van 3 maanden was echter te kort om tot zinnige uitspraken te komen. In latere verslagen wordt hierover niet meer gerept.
Er heeft geen gericht onderzoek plaatsgehad. Mogelijk kan de hogere verdamping bij de bak dijk aan de wind worden toegeschreven. Omdat de verdampingspan op de kruin van de dijk is ingegraven en op de overheersende windrichting (ZW) is gesitueerd zal de waterdamp die op het grensvlak water/lucht wordt gevormd sneller worden afgevoerd dan die bij de bak gemaal, waar de luchtstroming door de beschutte ligging minder sterk is.

2.4 BEWERKING VAN HET VERZAMELDE MATERIAAL

2.4.1 Inleiding

Ten behoeve van de rapportages in het kader van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek werden telkenmale de verkregen resultaten over een beperkte periode van één tot twee jaar in beschouwing genomen.

Nu in het eindrapport teruggekeken wordt op de totale onderzoekperiode, die voor het station Urk loopt van 1943 tot 1983, is de gelegenheid aangegrepen om enkele bewerkingen op het gehele gegevensbestand los te laten. Het betreft hier de bewerkingen van:
- gegevens bak gemaal - bak dijk;
- gegevens bak dijk - drijvende bak;
- gegevens bak terrein - drijvende bak en
- gegevens voor drijvende bak en Penmanverdamping.

In de volgende paragrafen zal hierop nader worden ingegaan.

2.4.2 Bewerking van de gegevens bak dijk - bak gemaal

Bewerking van de gegevens heeft tot de ontdekking geleid dat tussen de bak gemaal en de bak dijk een nauwe correlatie heeft bestaan, zoals uit de figuren 2.7.A en 2.7.B blijkt. De correlatie is het grootst voor de totaalsommen over het zomerhalfjaar (april tot en met oktober). De correlatiecoëfficiënt is dan 0,98. Voor de maandsommen per bepaalde maand is zij iets minder. De correlatiecoëfficiënt ligt dan tussen 0,85 en 0,99.
Van deze correlatie is gebruik gemaakt om het zomerseizoen van 1951, respectievelijk 1959, voor wat betreft de bak dijk verdampingen uit te breiden. De bak dijk gegevens over de periode 1951-1959 zijn vervolgens gebruikt bij de bewerking van de gegevens bak dijk - drijvende bak.

2.4.3 Bewerking van de gegevens bak dijk - drijvende bak

Voor de periode 1951 tot en met 1959 is met de verdampingsgegevens van beide bakken een correlatieberekening uitgevoerd. Er blijkt een goed verband bestaan te hebben tussen de gemeten verdampingen (correlatiecoëfficiënt 0,96 - zie figuur 2.8A).

2.4.4 Bewerking van de gegevens bak gemaal - drijvende bak

Voor dezelfde periode is ook met de verdampingsgegevens van deze bakken een correlatieberekening opgezet. Ook hier blijkt van een goede correlatie sprake te zijn, zij het in iets mindere mate dan bij het verband tussen de drijvende bak en de bak dijk (correlatiecoëfficiënt 0,93 - zie figuur 2.8B).

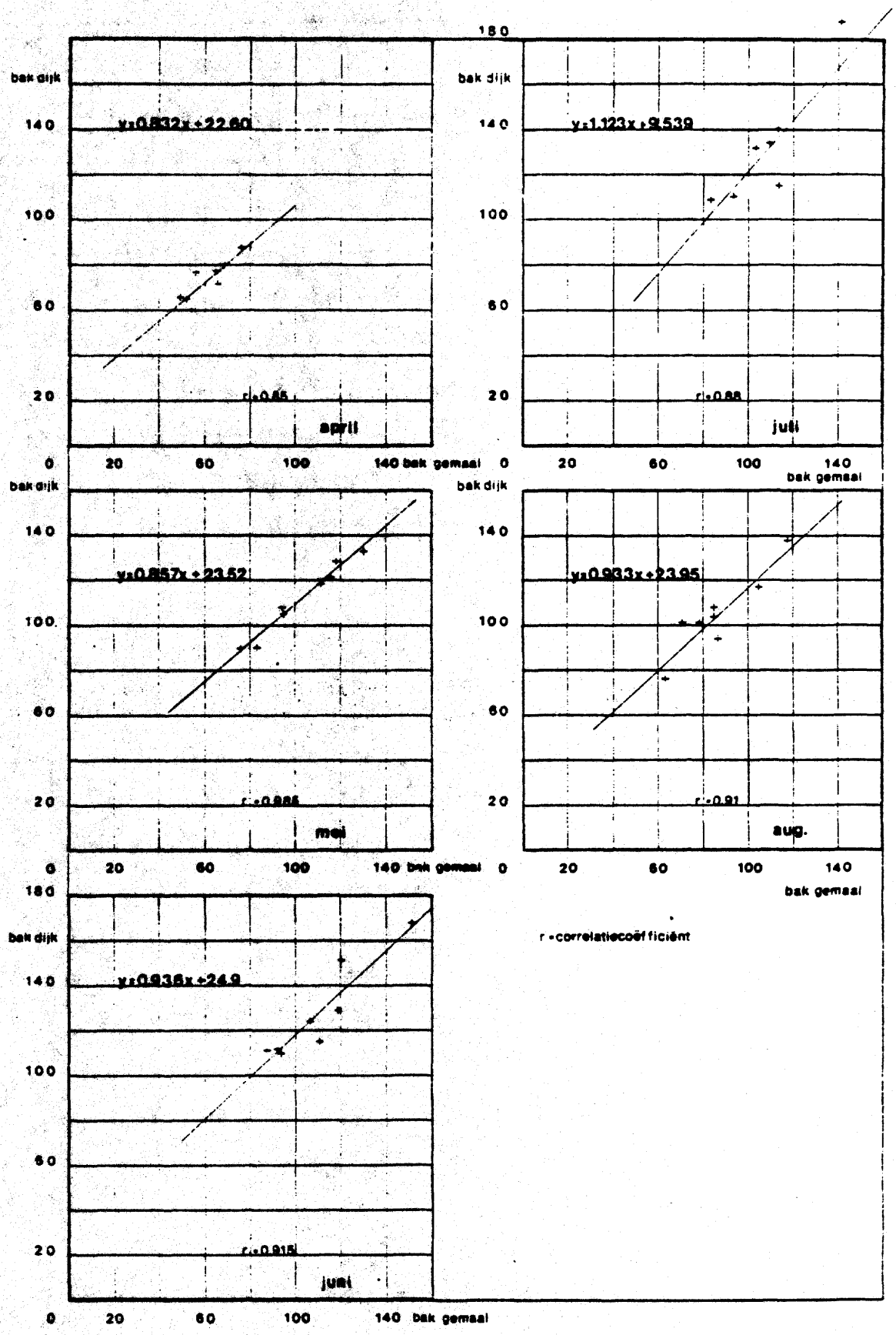


fig. 2.7.A Relatie tussen verdamping bak gemaal - bak dijk in mm per maand over de periode 1952-1959

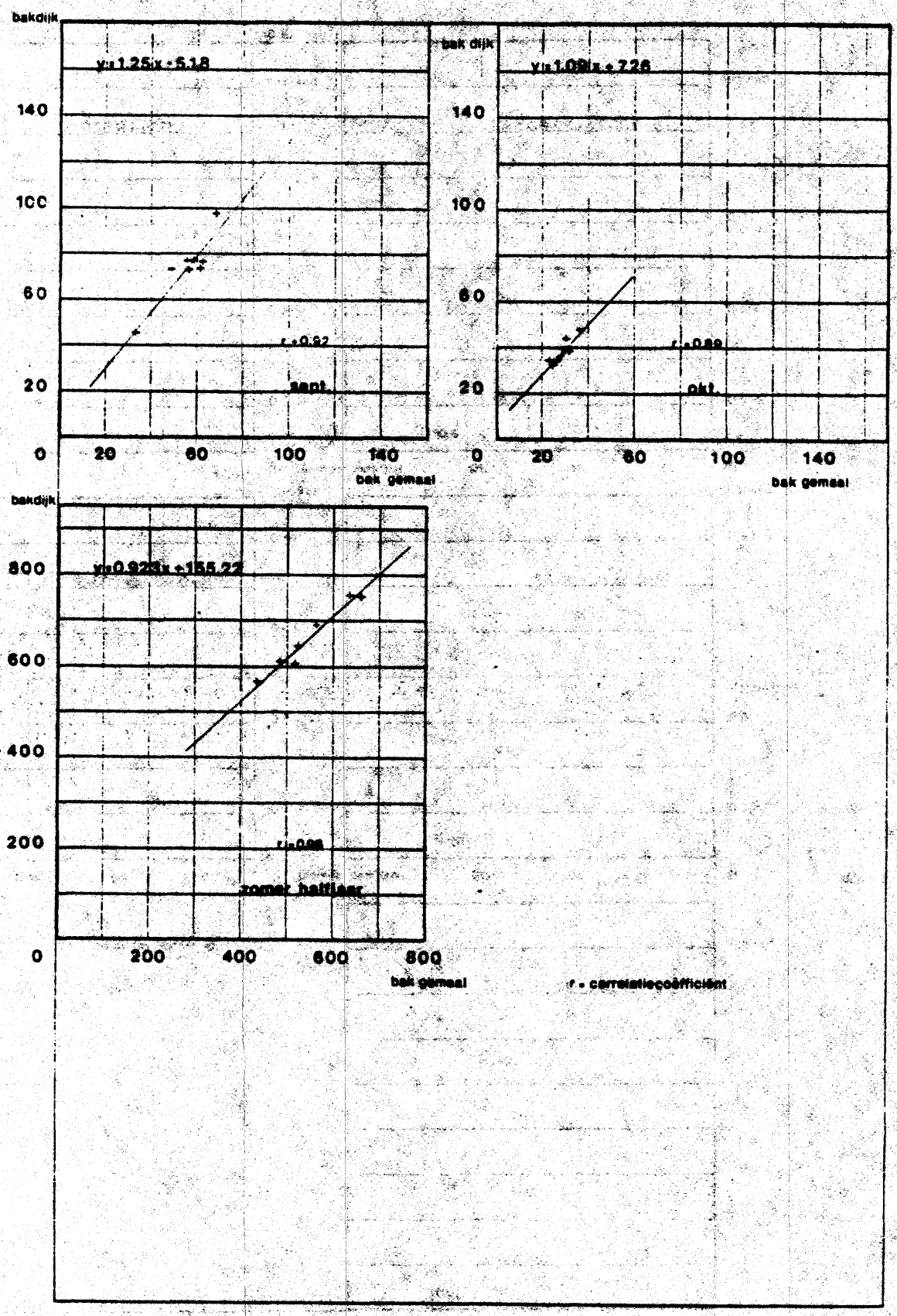
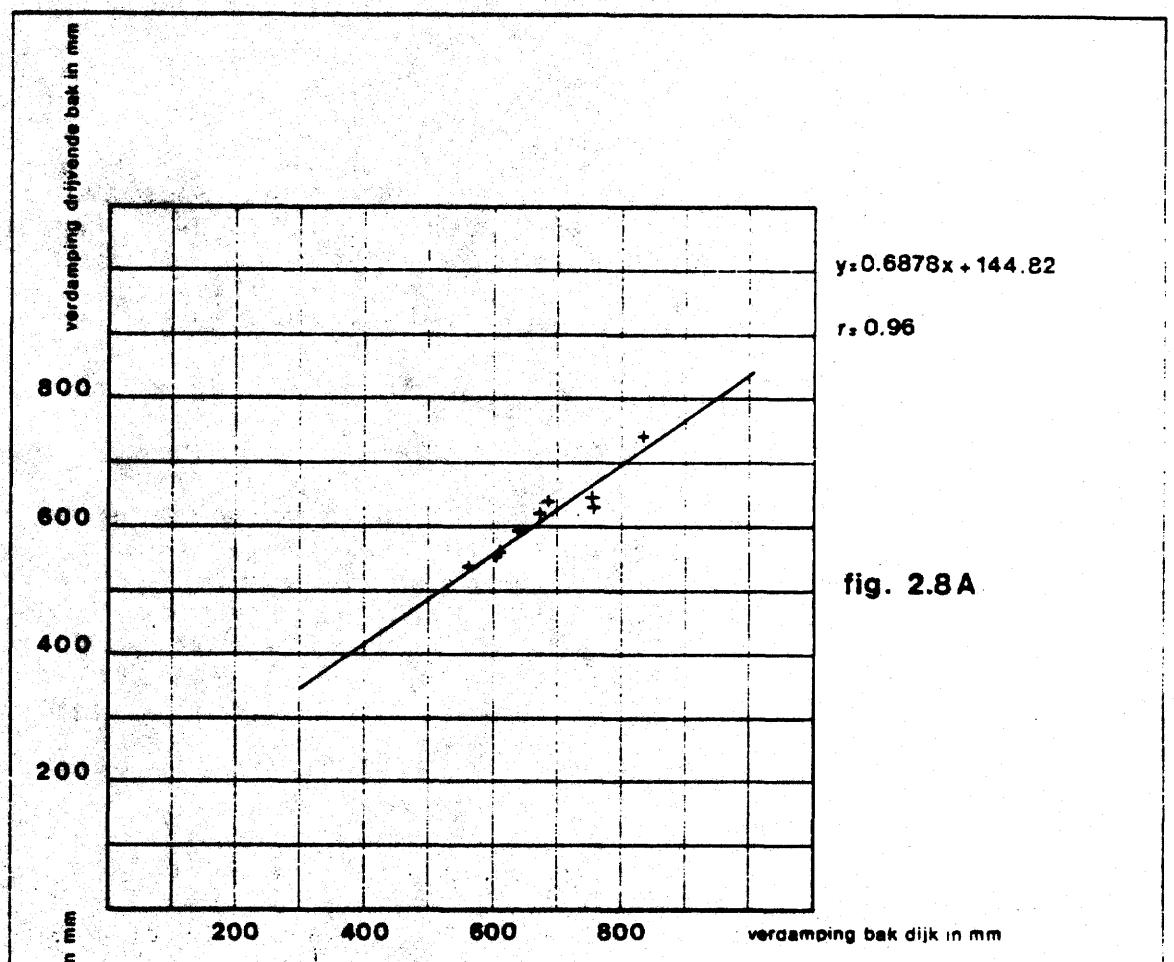


fig. 2.7.B Relatie tussen verdamping bak gemaal en bak dijk per maand en per zomerhalfjaar



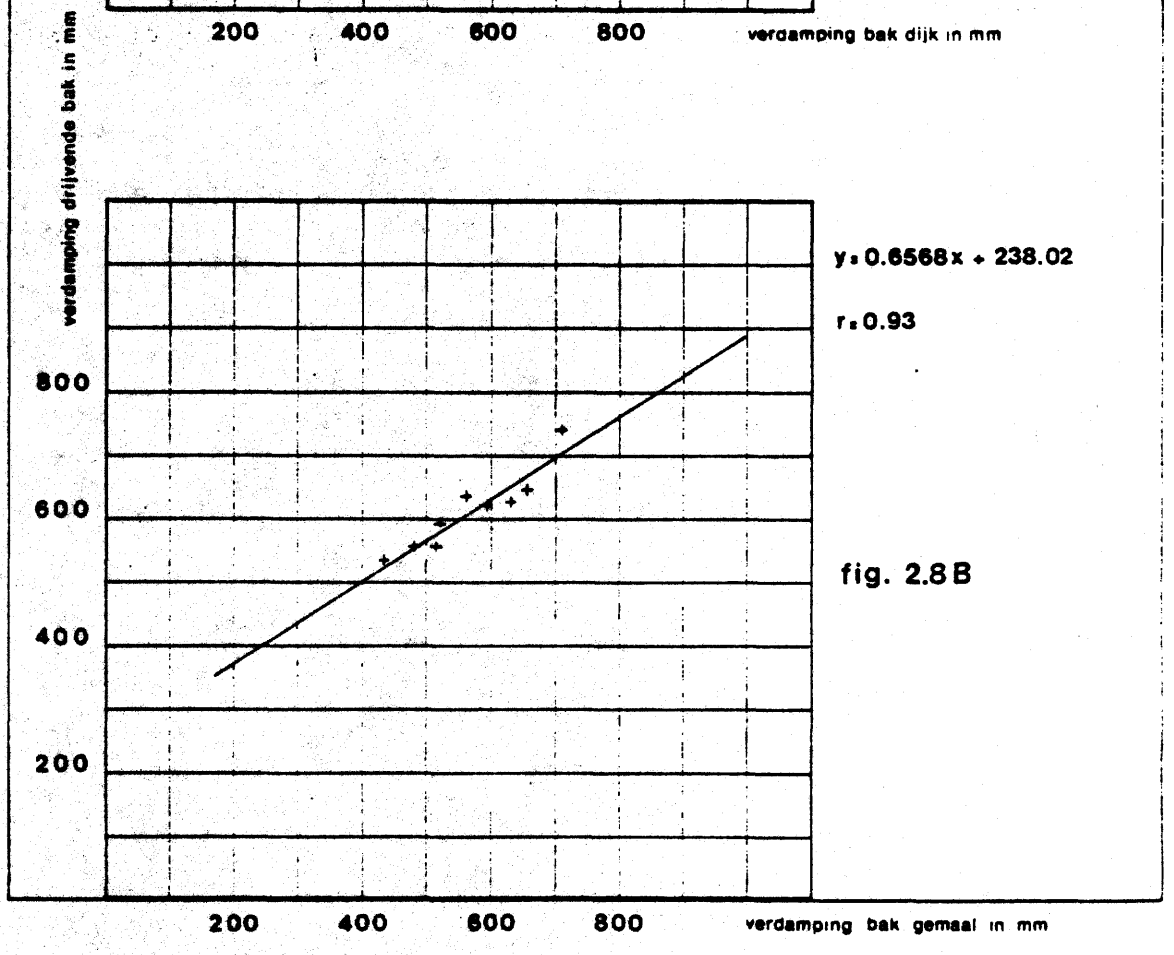


fig. 2.8 Relatie tussen de drijvende bak en de bak-dijk, resp. bak-gemaal in de periode 1951-1959

2.4.5 **Bewerking van de gegevens bak terrein - drijvende bak**

Omdat na de plaatsing van de bak terrein niet gedurende enige tijd simultaan waarnemingen zijn gedaan aan de bak gemaal, noch aan de bak dijk kunnen de voor 1960 verzamelde gegevens moeilijk mee in beschouwing worden genomen. Dit is dan ook de reden dat in het navolgende uitsluitend bewerkingen hebben plaatsgevonden over de periode 1960 tot en met 1982.
Hoewel bij vergelijking van de dagwaarden een mindere correlatie mag worden verwacht, zijn toch correlatie berekeningen uitgevoerd met deze verdampingscijfers. In de bijlagen 2.9A tot en met H zijn naast elkaar gezet de uitkomsten van de berekeningen met alle dagwaarden, inclusief de geschatte en/of berekende waarden, respectievelijk met alle gemeten waarden, zowel per maand als per zomerseizoen. Zoals te verwachten is, geven de verdampingscijfers zonder geschatte en/of berekende waarden (1) iets betere correlatiecoëfficiënten te zien dan die inclusief de geschatte en/of berekende waarden (0). Verder valt het op dat oktober de laagste correlatiecoëfficiënt te zien geeft (r = 0,82). Wel kan worden geconcludeerd dat de correlatie tussen de dagwaarden zeer goed te noemen is.

2.4.6. **Bewerking van de gegevens voor de drijvende bak en de Penmancijfers**

In tabel 2.9 zijn over de jaren 1961 tot en met 1981 de Penmancijfers weergegeven voor het IJsselmeer. De verdampingswaarden zijn gecorrigeerd voor de warmtecapaciteit van het meer.
Deze tijdreeks is te vergelijken met de verdampingsresultaten verkregen met de drijvende bak. In tabel 2.10 zijn de gemiddelde waarden per maand over deze periode opgenomen.
Om uit de bakverdampingswaarden die voor het IJsselmeer te berekenen, werd gebruik gemaakt van correctiefactoren, zoals zij in het tweede verslag van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek werden afgeleid.

Tabel 2.9 Openwaterverdamping volgens Penman voor het IJsselmeergebied in mm gecorrigeerd voor de warmtecapaciteit uit KNMI-gegevens.

maand	jaar 1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
januari	14	8	7	2	1	8	13	9	9	0	2
februari	7	7	26	8	16	15	10	21	26	25	12
maart	39	36	18	22	27	24	31	47	26	24	26
april	67	49	53	49	46	51	28	66	75	62	56
mei	81	105	74	75	101	86	119	101	81	83	91
juni	141	105	101	125	128	101	114	105	107	119	146
juli	93	122	85	107	108	112	103	120	123	101	111
augustus	94	89	100	96	111	96	102	108	91	131	111
september	70	63	73	67	80	64	72	64	79	85	86
oktober	30	54	46	41	42	41	45	66	33	39	47
november	23	25	22	19	23	34	20	19	33	45	30
december	19	15	9	14	19	5	9	13	12	11	23
april t/m oktober	576	587	532	560	616	551	583	630	589	620	648

	jaar 1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	gem. 1960 - 1981
januari	0	14	3	5	16	25	2	12	2	6	12	7,7
februari	24	8	17	20	21	7	11	12	8	11	17	15,0
maart	31	38	30	27	31	36	43	25	26	33	21	30,0
april	58	64	63	77	39	71	56	54	55	64	72	58,0
mei	92	93	88	90	104	99	105	71	71	117	77	91,1
juni	119	100	114	115	115	123	95	132	113	116	106	115,5
juli	121	103	133	114	106	166	124	81	101	83	98	109,8
augustus	108	102	108	98	135	115	76	115	89	111	89	103,4
september	75	76	75	85	84	68	78	72	81	70	71	74,7
oktober	55	40	42	38	52	48	35	33	52	59	52	45,0
november	29	25	34	15	18	18	39	28	13	38	25	26,1
december	10	16	6	11	5	18	5	12	23	7	13	12,5
april t/m oktober	628	578	623	617	635	690	569	558	562	620	571	597,5

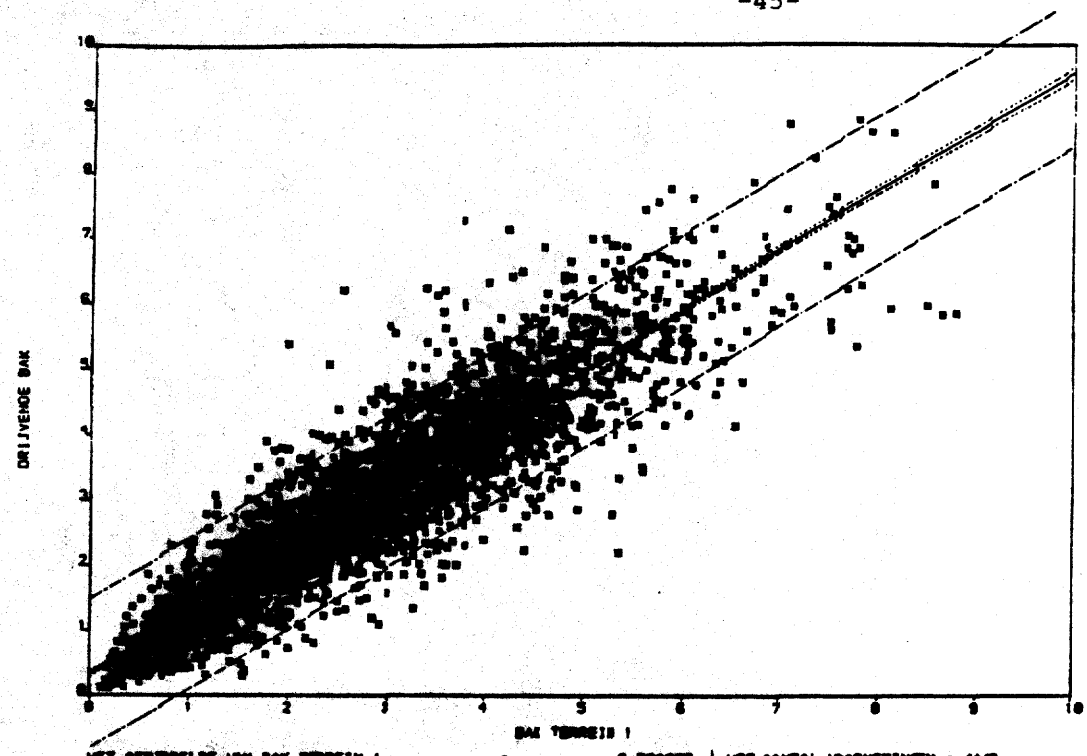
Tabel 2.10 Verdampingswaarden IJsselmeer gemiddeld per maand over de periode 1961-1981

	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.
bak verdamping	61,9	101,7	120,6	117,2	105,0	68,0	35,1
correctiefactor	0,78	0,81	0,88	0,92	0,96	1,01	1,28
verdamping IJsselmeer uit bakverdamping	48,3	82,4	106,1	107,8	100,8	68,7	44,9
IJsselm.verdamp.vlg. Penman	57,6	91,6	114,3	110,6	103,8	74,9	45,7

Een en ander is weergegeven in figuur 2.10.
De beide krommen zijn in fase. Wel zijn de via de Penmanformule berekende en voor de warmte-inhoud van het meer gecorrigeerde waarden steeds hoger dan de uit de bak berekende waarden. Het verschil bedraagt gemiddeld 5,6 mm. Een verschil dat in orde van grootte gelijk is aan datgene wat reeds eerder door Keijman werd gevonden. (Zie verslagen en mededelingen Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO nr. 4). Wel is er in de nu beschouwde periode een duidelijke scheiding aan te wijzen tussen het gemiddelde verschil voor de maanden april tot en met juni, respectievelijk over de maanden juli tot en met oktober. De gevonden waarden bedragen 8,9 mm, respectievelijk 3,2 mm. In de door Keijman onderzochte periode was deze geprononceerde scheiding niet aanwezig.
Tenslotte is bekeken of het hiervoor gevonden resultaat ook wordt bevestigd in een bepaald jaar. Daarvoor zijn in figuur 2.11 de verdampingswaarden voor het IJsselmeer uitgezet, zoals gevonden via Penman en via de drijvende bak voor de jaren 1968, 1974 en 1976. Het jaar 1976 kan als een droog jaar, 1968 als een nat jaar en 1974 als een gemiddeld jaar worden gekarakteriseerd (tabel 2.11).
Zoals verwacht mocht worden, is de overeenstemming minder goed dan in het geval van de gemiddelden over de 21-jarige periode. Toch is er een redelijke overeenstemming.

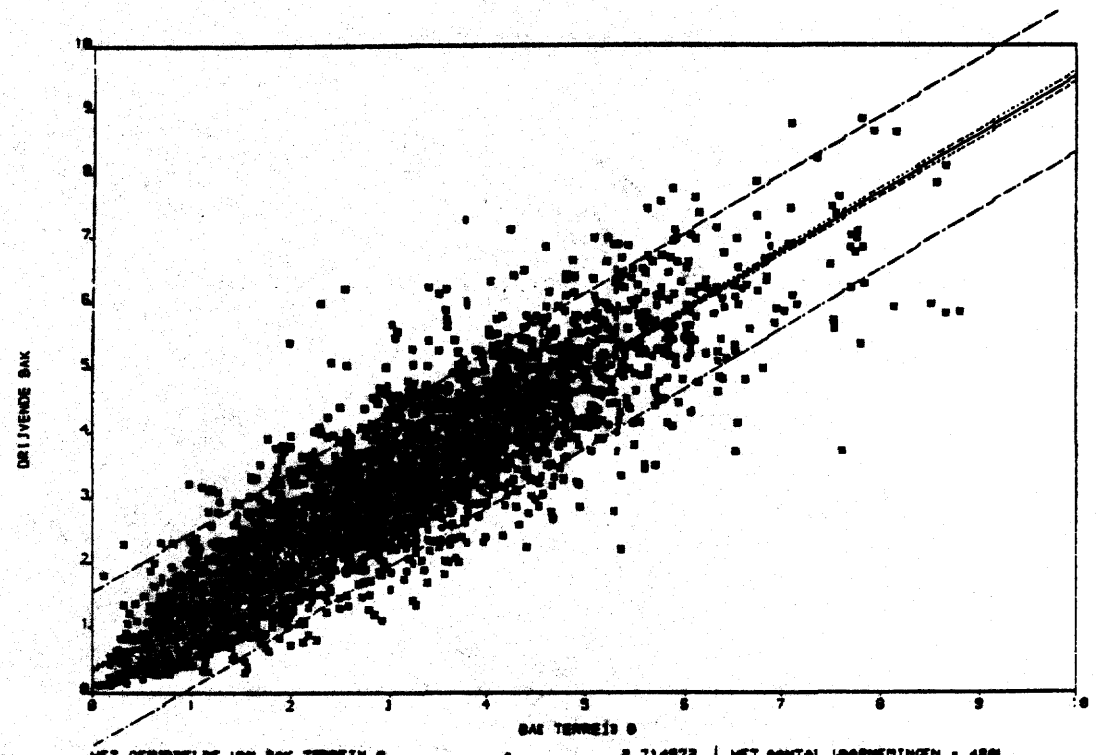
Tabel 2.11 Verdampingswaarden IJsselmeer

Jaar	Methode	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.
1968	Drijvende bak	56	69	92	110	84	64	37
	Penman	75	81	107	123	91	79	33
1974	Drijvende bak	63	76	109	106	105	67	38
	Penman	77	90	115	114	98	85	38
1976	Drijvende bak	73	95	124	156	122	62	45
	Penman	71	99	123	166	115	68	48



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN 1	=	2.730875	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 4130
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	2.065530	BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN 1	=	1.468312	95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.461388	95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.918881	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.581240	

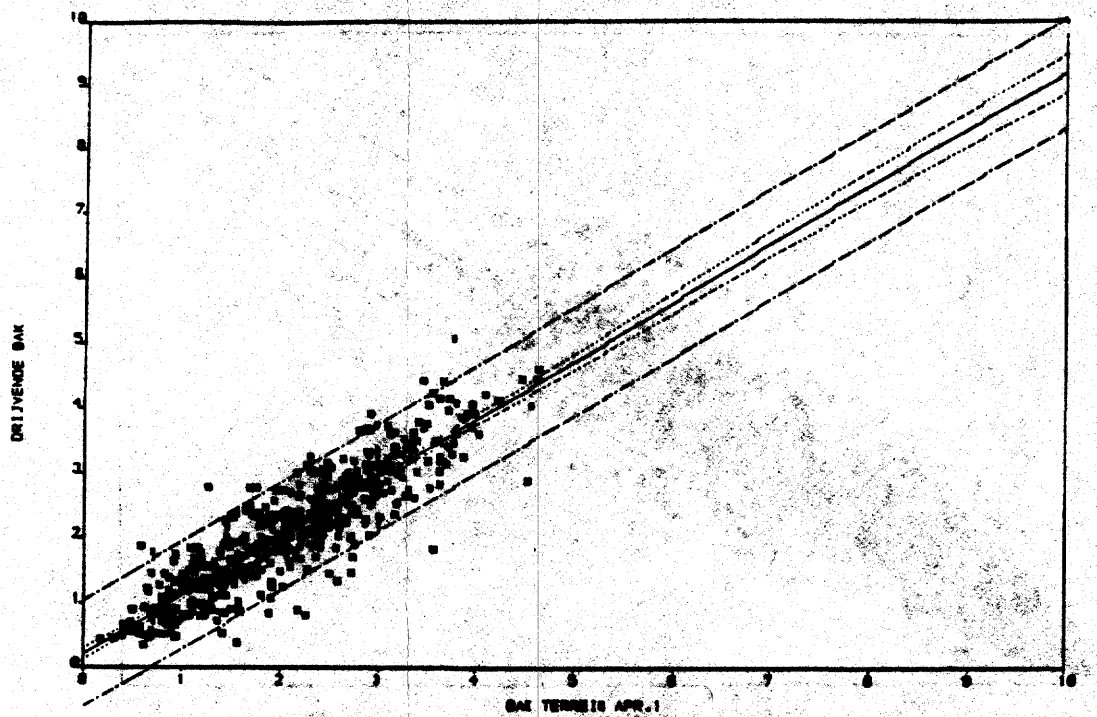
> DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .885688 X + .2898



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN 0	=	2.714872	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 4881
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	2.841884	BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN 0	=	1.471788	95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.480829	95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.911718	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.588338	

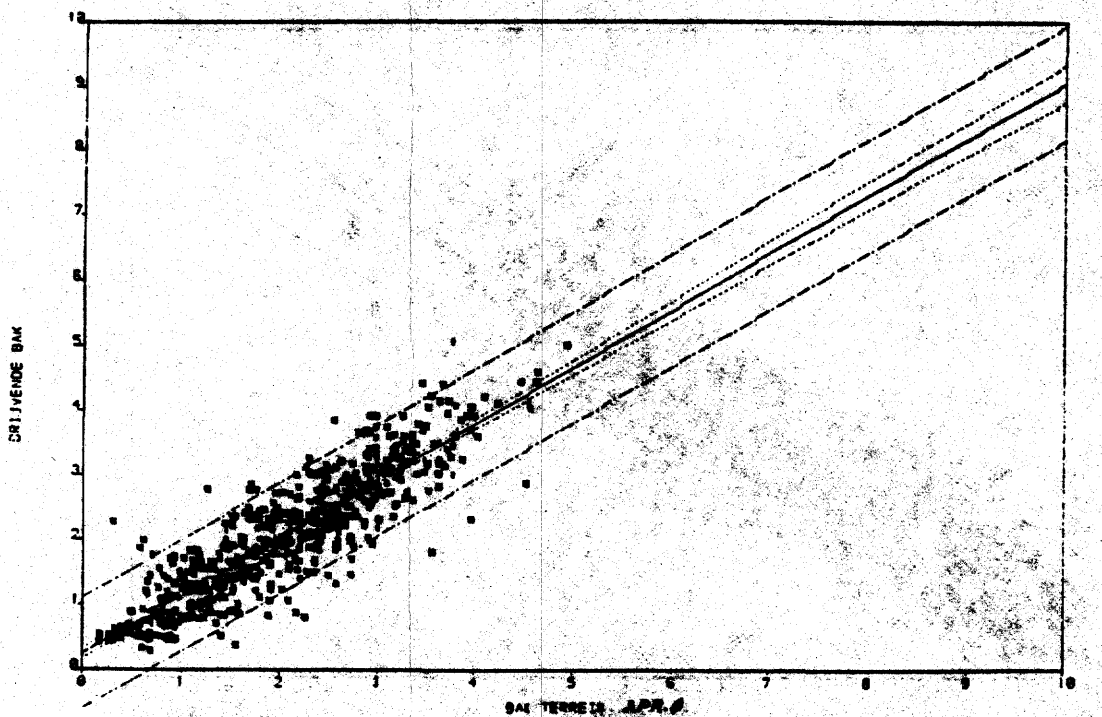
> DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .917841 X + .3613

figuur 2.9.A



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN APR.1 = [illegible]
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = [illegible]
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN APR.1 = [illegible]
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = [illegible]
DE CORRELATIECOEFFICIENT = [illegible]
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = [illegible]
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= [illegible] X + [illegible]

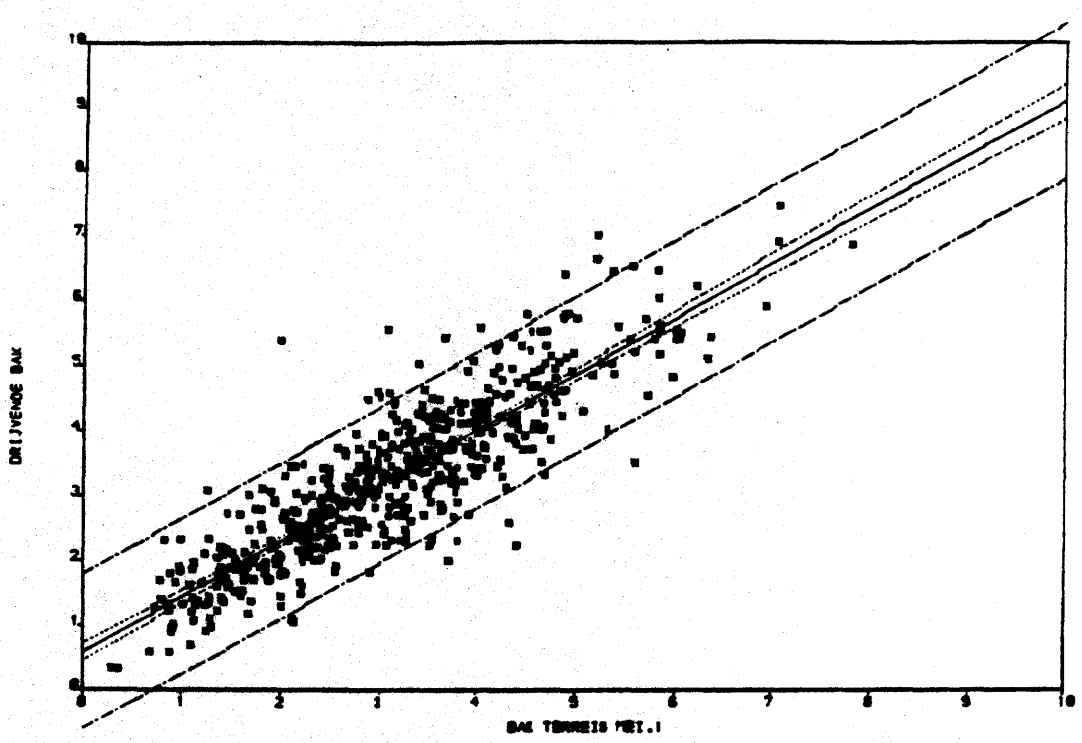
HET AANTAL WAARNEMINGEN = [illegible]
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
—.—.— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN = [illegible]
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = [illegible]
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN = [illegible]
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = [illegible]
DE CORRELATIECOEFFICIENT = [illegible]
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = [illegible]
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= [illegible] X + [illegible]

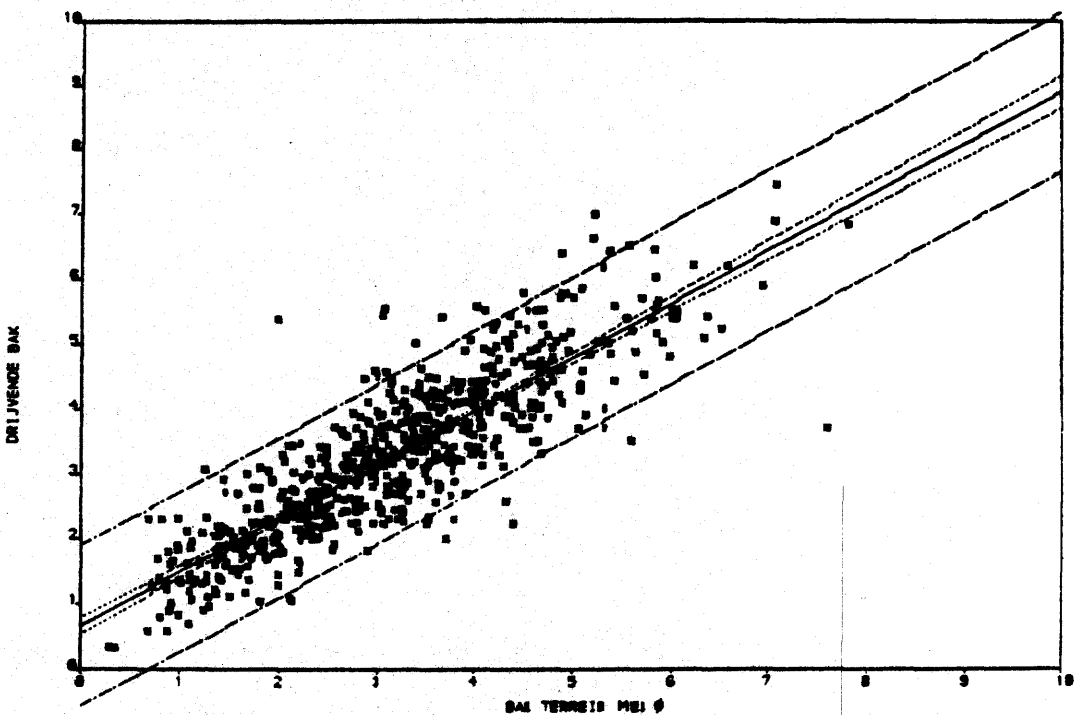
HET AANTAL WAARNEMINGEN = [illegible]
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
—.—.— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

figuur 2.9 B



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN MEI.1	=	3.141678	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 578
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	3.261367	BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN MEI.1	=	1.247246	95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.221542	95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.867614	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.607583	

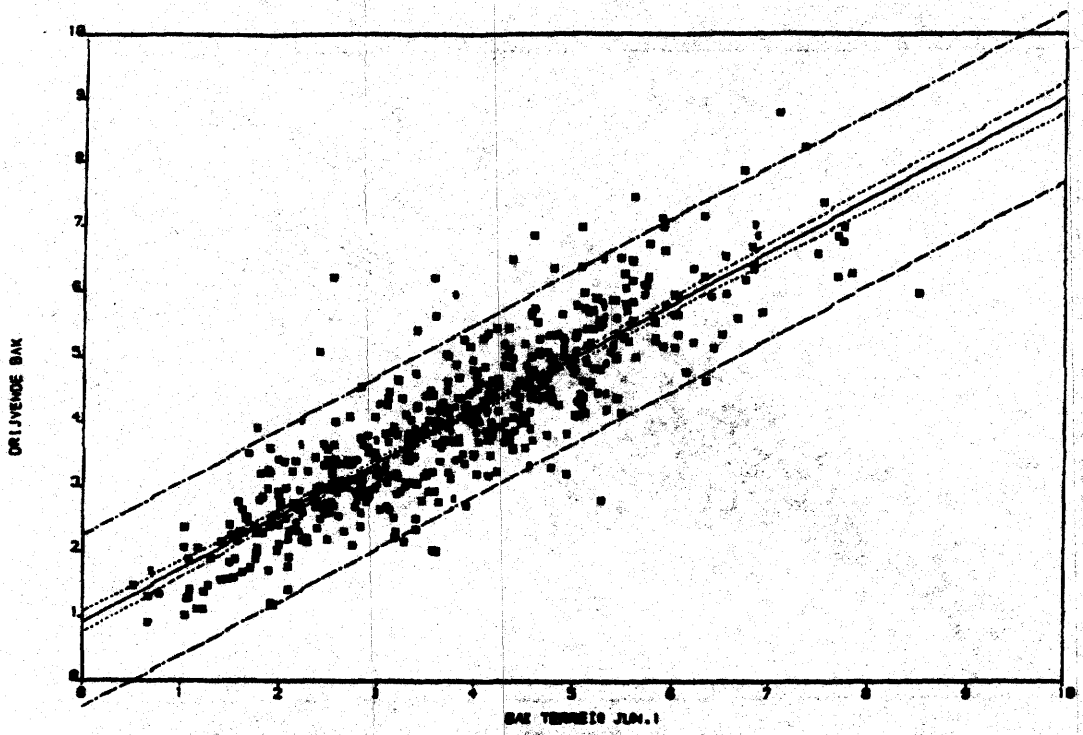
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .848732 X + .08178



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN	=	3.153372	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 682
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	3.262214	BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN	=	1.274780	95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.221582	95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.859440	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.625604	

DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .883641 X - .6658

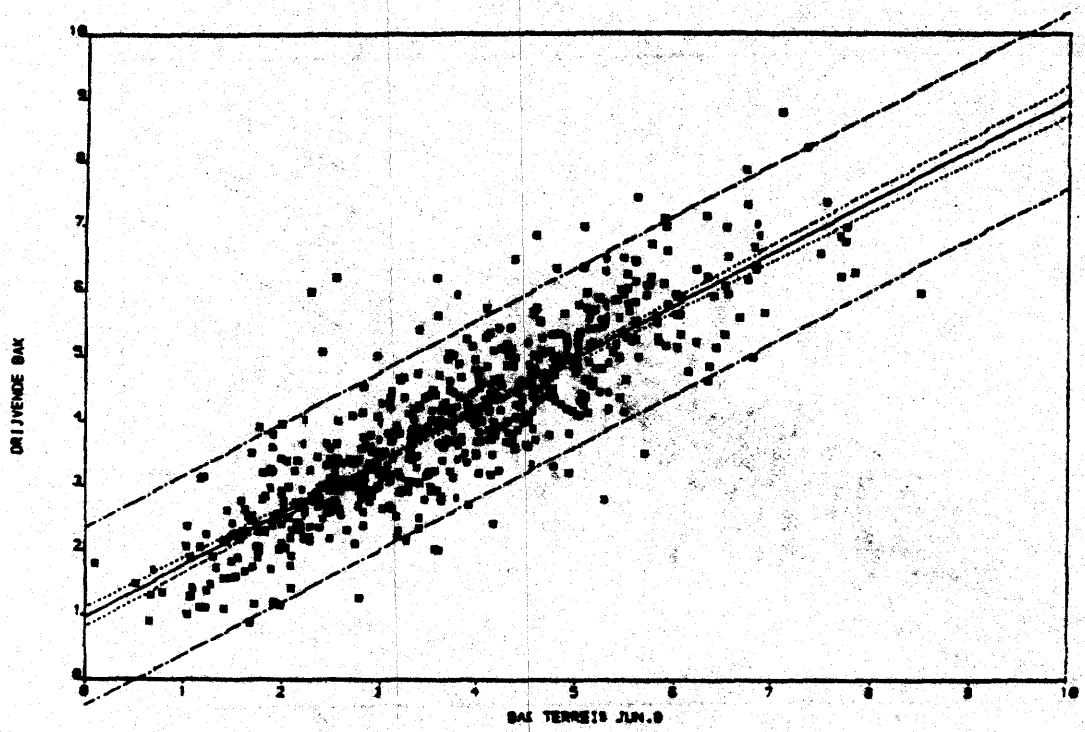
figuur 2.9 C



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN JUN.1 = 3.840016
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 4.030700
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN JUN.1 = 1.408381
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = 1.339863
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .884781
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .671439

HET AANTAL WAARNEMINGEN = 564
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

> DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .810068 X + .91984

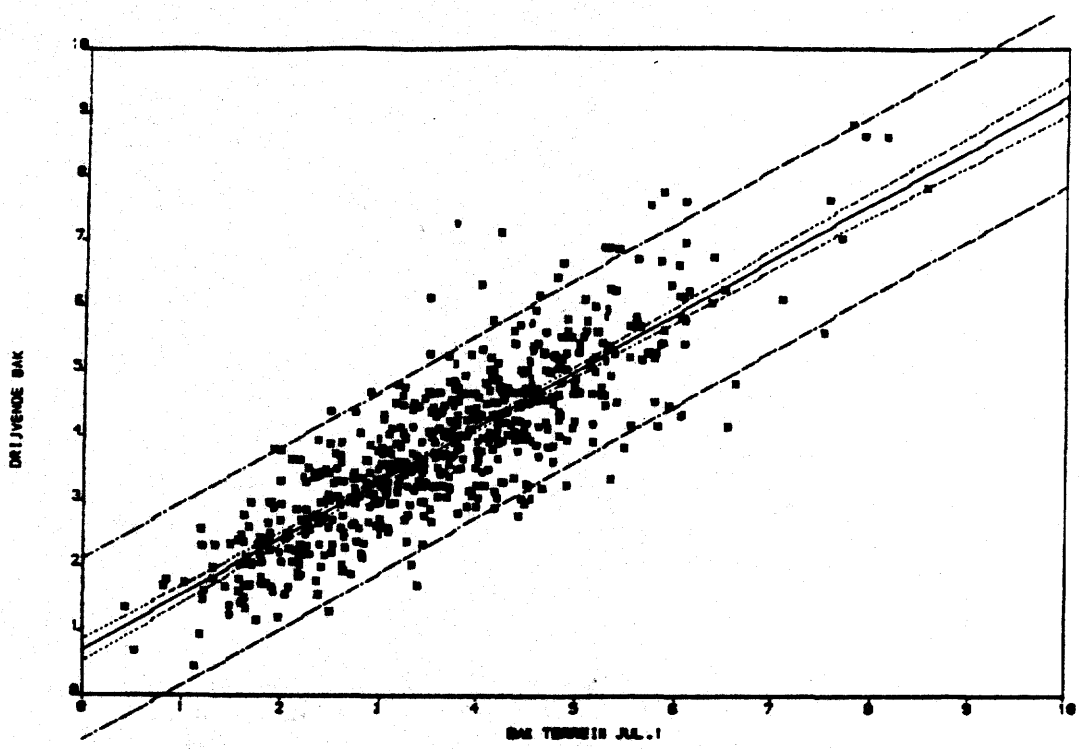


HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN JUN.0 = 3.798968
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 4.004939
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN JUN.0 = 1.432428
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = 1.341788
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .884446
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .687639

HET AANTAL WAARNEMINGEN = 568
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

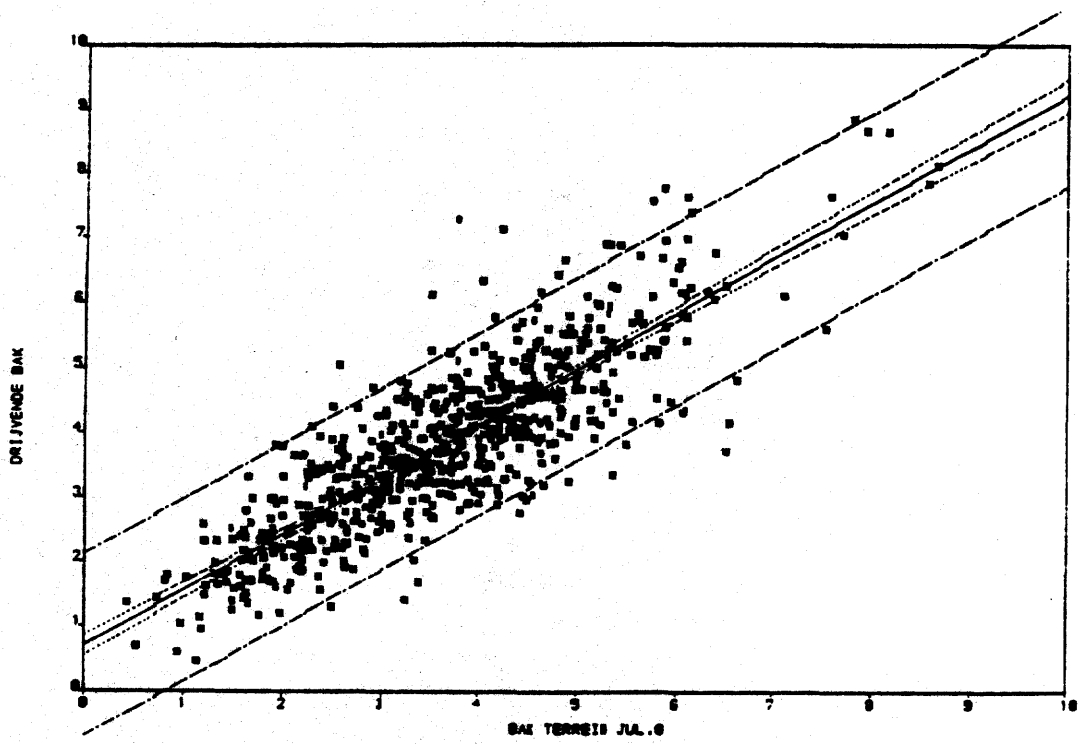
> DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .798868 X + .9568

figuur 2.9 D



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN JUL.1 = 3.676000
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 3.848913
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN JUL.1 = 1.284843
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = 1.310119
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .840388
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .710713
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .888888 X + .8978

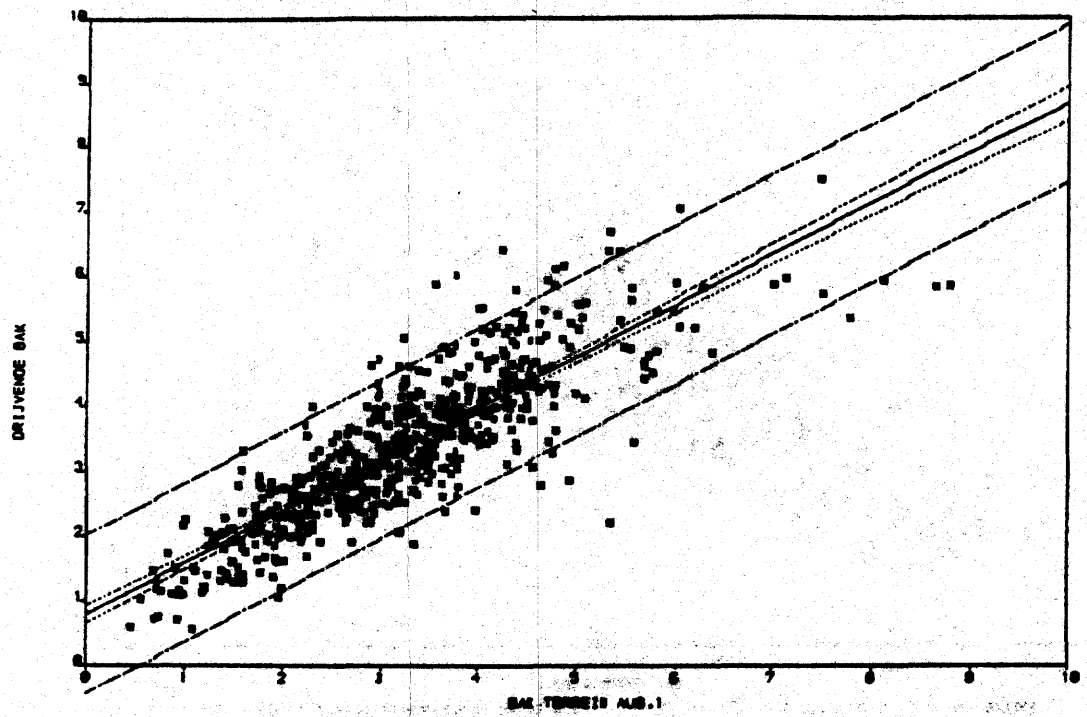
HET AANTAL WAARNEMINGEN = 811
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN



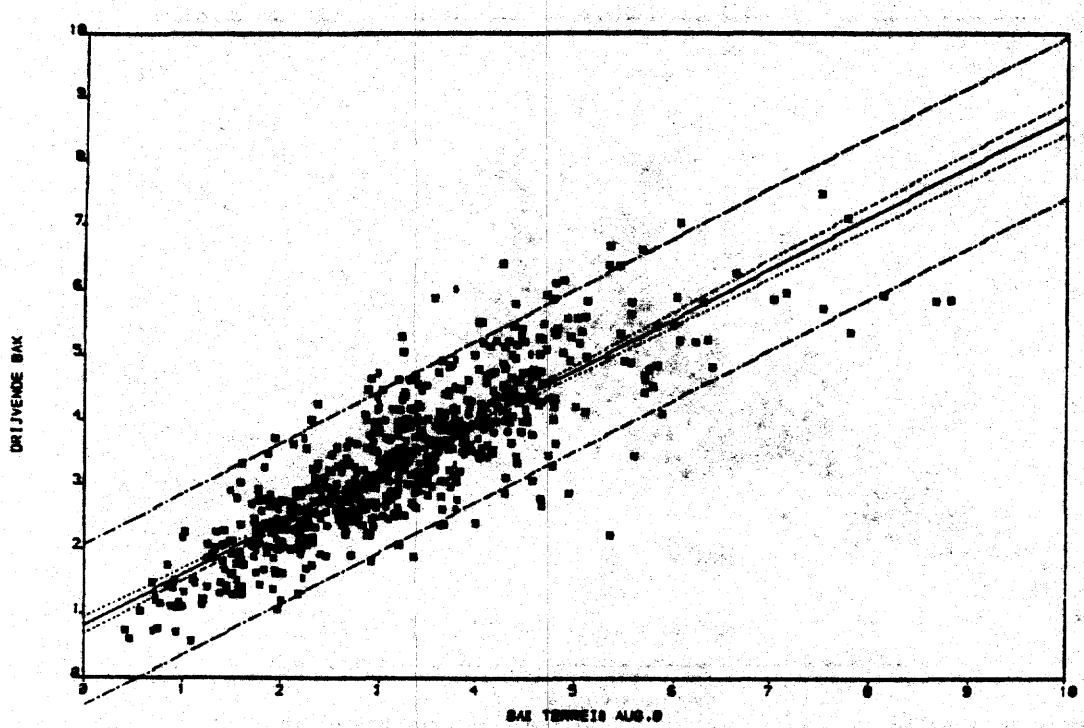
HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN JUL.0 = 3.645189
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 3.864783
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN JUL.0 = 1.308827
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = 1.318778
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .841135
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .713746
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .861421 X + .7019

HET AANTAL WAARNEMINGEN = 713
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

figuur 2.9 E

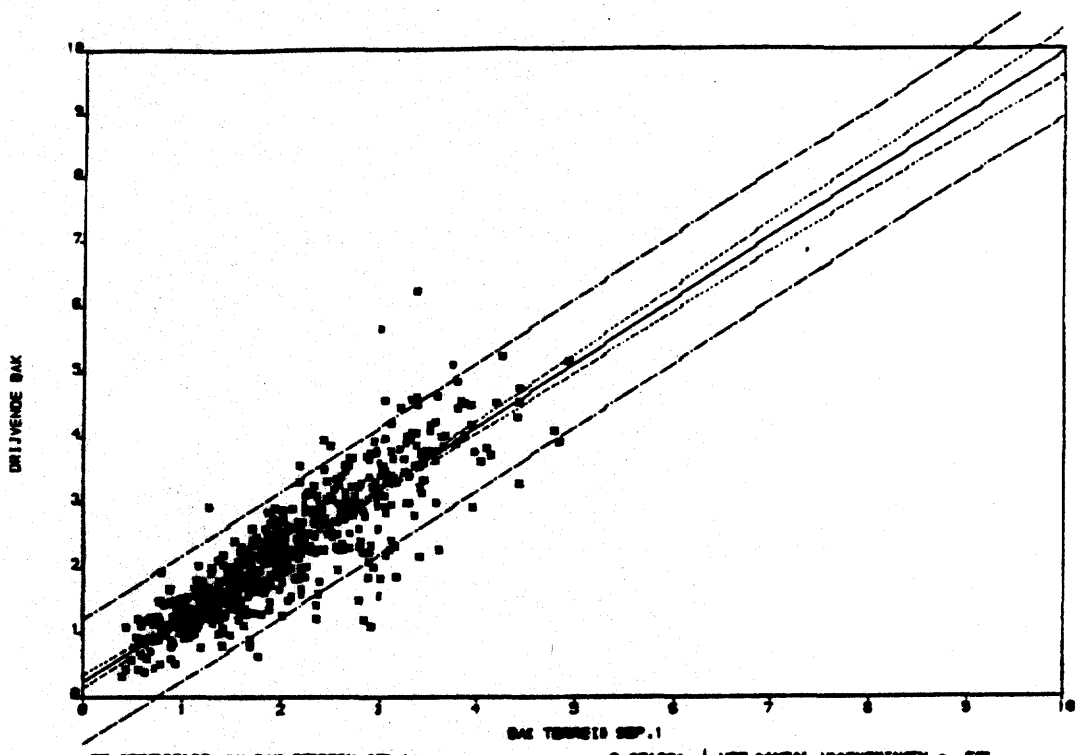


HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN AUG.1	=	3.277857	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 683
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	3.378183	——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN AUG.1	=	1.884388	——— 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.140828	——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.841867	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.610675	
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y=		.78687X +	.7888



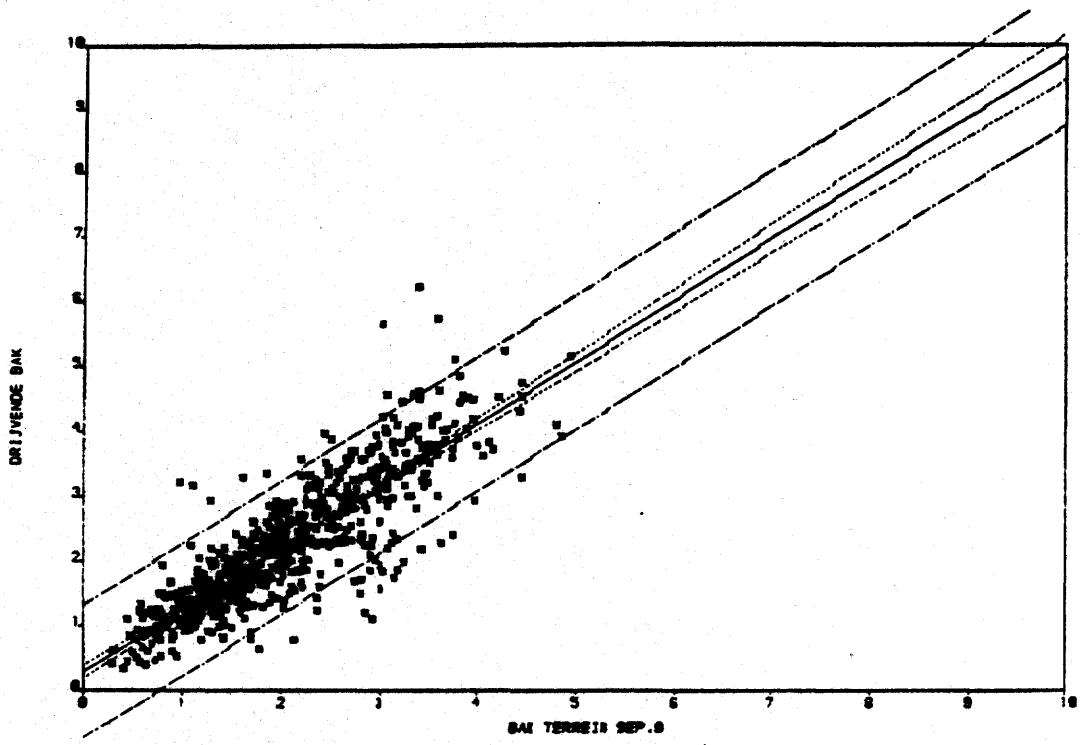
HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN AUG.0	=	3.251987	HET AANTAL WAARNEMINGEN = 713
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	3.388691	——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN AUG.0	=	1.839934	——— 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	1.162816	——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.839867	
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.632168	
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y=		.787348 X +	.38933

figuur 2.9 F



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN SEP.1 = 2.071881
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 2.285300
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN SEP.1 = .879888
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = .986153
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .887468
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .481134
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .978862 X + .22973

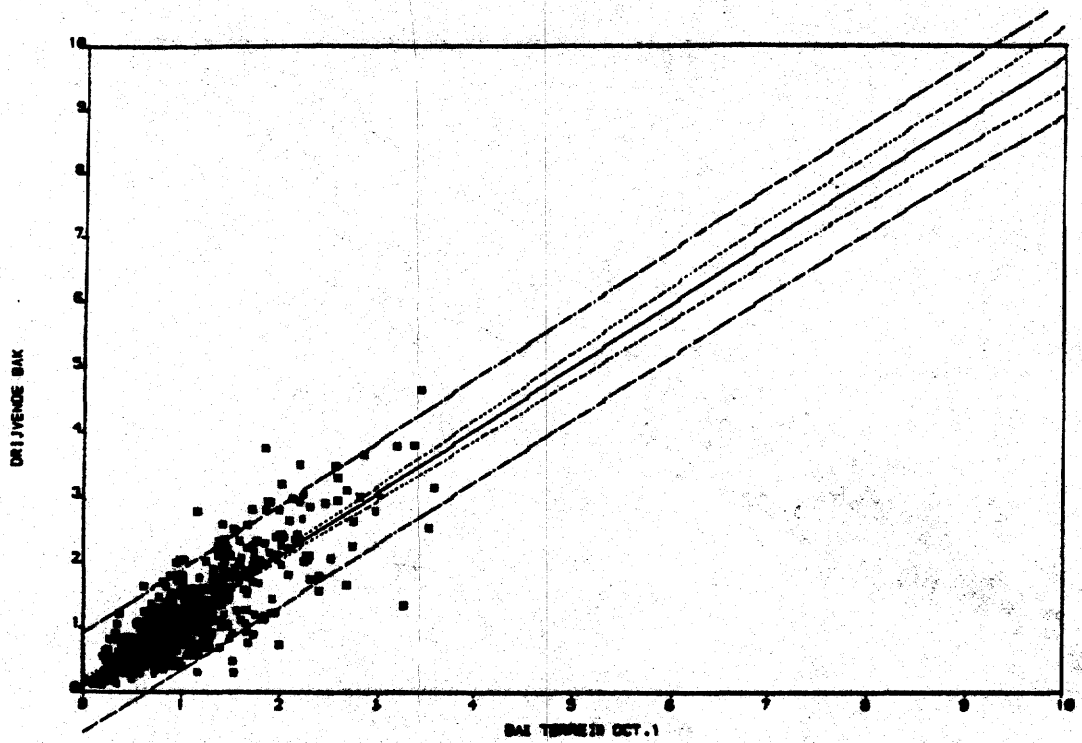
HET AANTAL WAARNEMINGEN = 988
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN SEP.0 = 2.064637
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK = 2.255955
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN SEP.0 = .884638
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK = .991933
DE CORRELATIECOEFFICIENT = .860001
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING = .522527
DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .953271 X + .28799

HET AANTAL WAARNEMINGEN = 670
——— BEREKENDE REGRESSIELIJN
..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN
——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

figuur 2.9 G



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN OCT.1	=	1.036367
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	1.140438
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN OCT.1	=	.897829
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	.688470
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.822878
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.384888

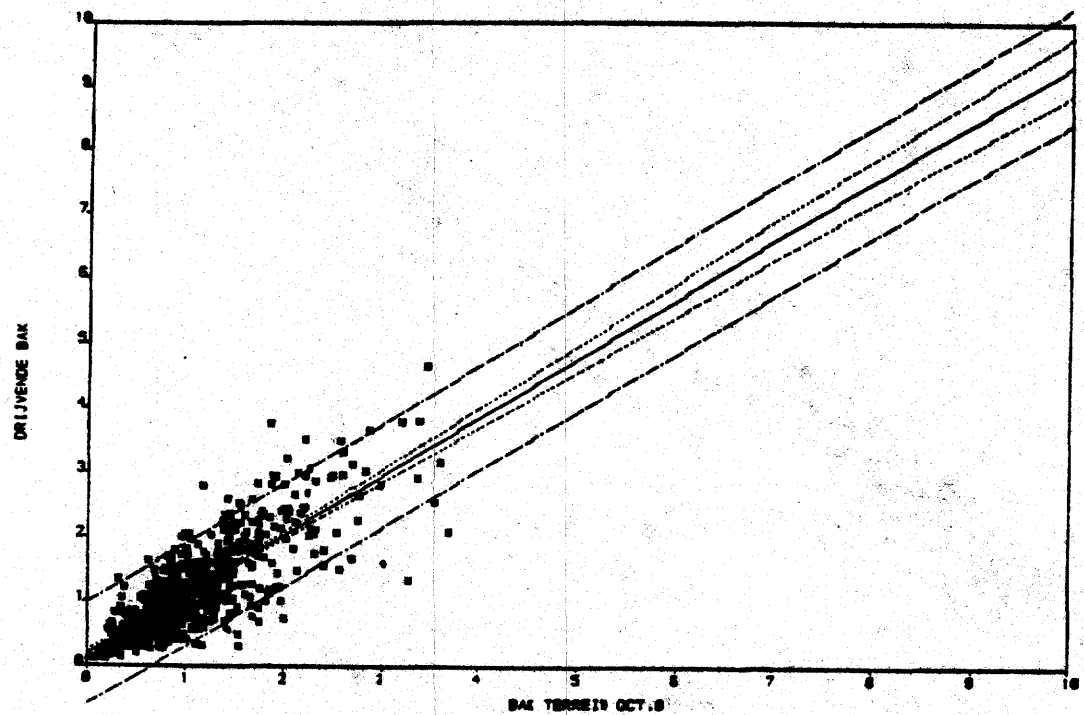
HET AANTAL WAARNEMINGEN = 827

——— BEREKENDE REGRESSIELIJN

..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN

——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .888384 X + .1418



HET GEMIDDELDE VAN BAK TERREIN OCT.0	=	1.031280
HET GEMIDDELDE VAN DRIJVENDE BAK	=	1.128401
DE STANDAARDAFWIJKING VAN BAK TERREIN OCT.0	=	.596283
DE STANDAARDAFWIJKING VAN DRIJVENDE BAK	=	.679828
DE CORRELATIECOEFFICIENT	=	.863388
DE RESIDUELE STANDAARDAFWIJKING	=	.404884

HET AANTAL WAARNEMINGEN = 713

——— BEREKENDE REGRESSIELIJN

..... 95% BETR. VOOR DE BEREKENDE LIJN

——— 95% BETR. VOOR DE PUNTEN

DE BEREKENDE REGRESSIEVERGELIJKING IS Y= .915223 X + .1848

figuur 2.9 H

waarden gecorrigeerd op warmte inhoud van ijsselmeer

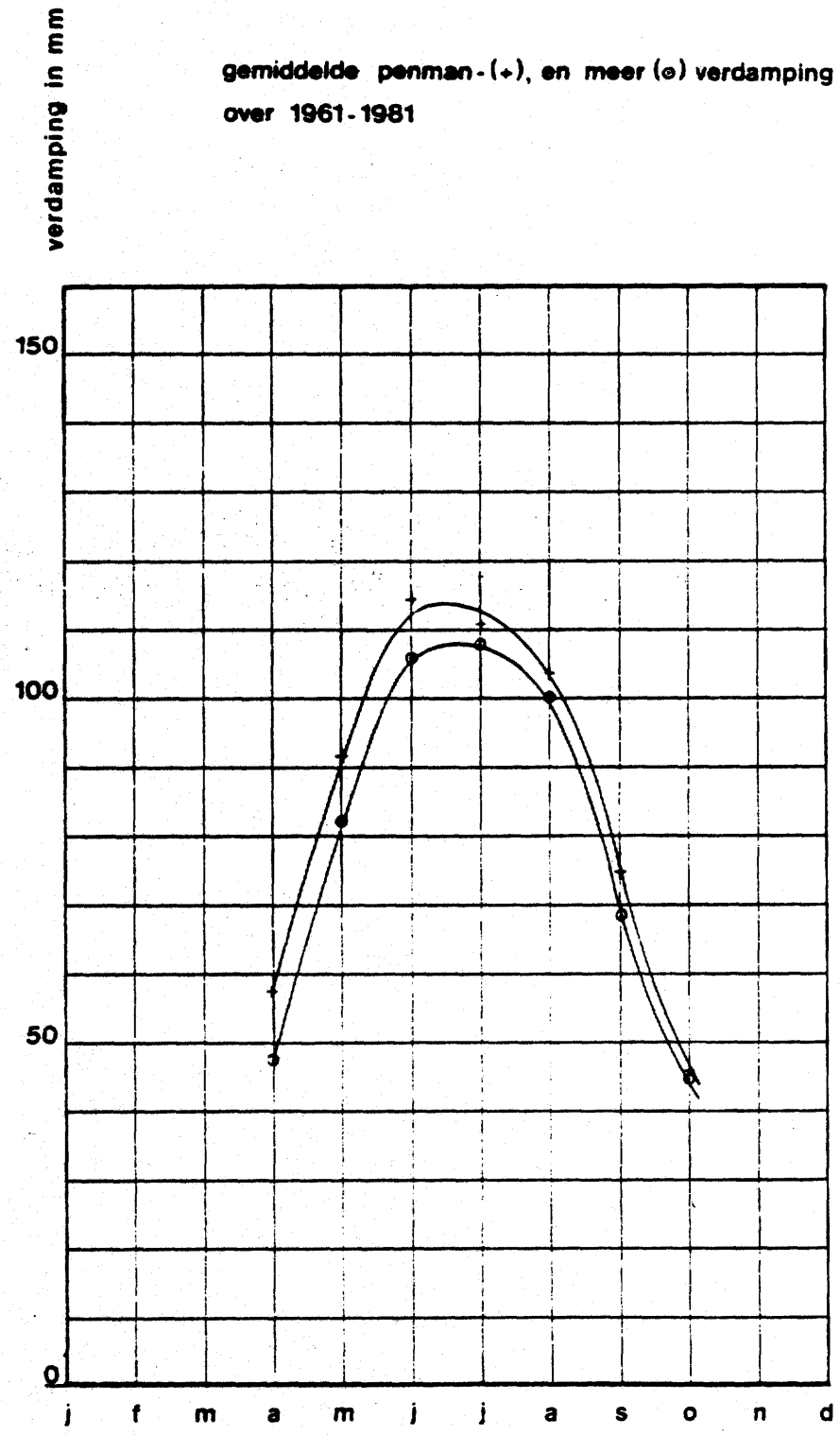


fig. 2.10

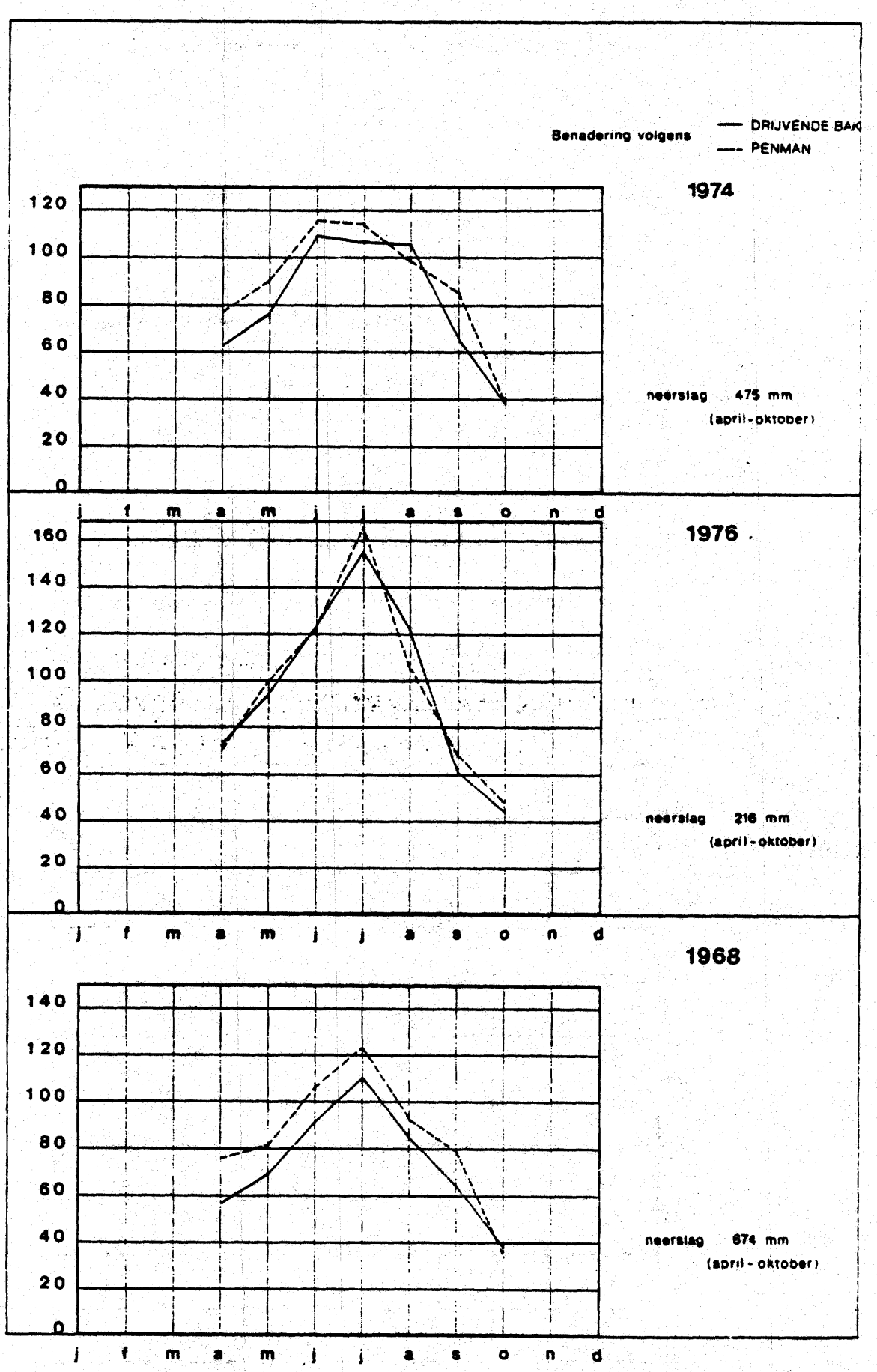


fig. 2.11 IJsselmeerverdamping in mm

2.5 NABESCHOUWING EN KRITISCHE EVALUATIE

Het verdampingsonderzoek in Urk beslaat de periode van augustus 1943 tot februari 1971. Na beëindiging van de waarnemingen in de Rottegatspolder in 1971 is de Dienst der Zuiderzeewerken haar waarnemingen te Urk blijven voortzetten tot november 1976. Na deze datum zijn de waarnemingen tot op heden voortgezet door het district Noord van de Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Dit betekent dat thans een reeks van 40 jaar waarnemingen beschikbaar is.

In paragraaf 2.4.6 werd aangetoond dat met de Penmanberekening voor open water, na correctie op de warmte-inhoud van het IJsselmeer, een goede tot aanvaardbare benadering van de verdamping van dit meer kan worden gevonden.
De vraag rijst dan ook of verdere voortzetting van het verdampingsonderzoek te Urk nog wel zinvol is. Met deze vraag komen we bij de kritische evaluatie van het onderzoek. Bestudering van het voorhanden zijnde materiaal leidt tot de conclusie dat door de Dienst der Zuiderzeewerken initiatieven zijn ontwikkeld, resp. genomen om bepaalde aspecten van het fenomeen verdamping beter te leren kennen.

Gememoreerd moeten o.a. worden:
- het in de verslagen 1 tot en met 5 aangekondigde laboratoriumonderzoek ten einde een antwoord te vinden op de vraag welke invloed luchtvochtigheid, windsnelheid en golfvorming hebben op de verdamping van een vrij wateroppervlak;
- het vergelijkend onderzoek bak dijk - bak gemaal en
- het vergelijkend onderzoek bak binnen - bak buiten.

Het is jammer te moeten constateren dat door onvoldoende management de uitwerking van deze initiatieven of niet van de grond is gekomen (b.v. het laboratoriumonderzoek) of is verwaterd (b.v. vergelijkende onderzoekingen tussen bak gemaal/bak dijk, resp. bak binnen / bak buiten).
Het wekt bevreemding dat zowel de bakken dijk, als gemaal gelijktijdig werden opgeheven en werden vervangen door de bak terrein zonder de waarnemingen aan deze drie bakken nog enige tijd naast elkaar voort te zetten.
Tenslotte kunnen vraagtekens worden gezet bij het rücksichtlos continueren van de verdampingswaarnemingen zonder enigerlei vorm van evaluatie.

Het verdient aanbeveling in voorkomende gevallen de waarnemers en de verslagleggers beter te begeleiden en zich steeds te blijven afvragen wat de zin is van de waarnemingen en of het nog nodig is deze te blijven voortzetten.

Aanhangsel 2.1: Het Flevo-Project

In september 1966 was de bouw van de dijk van de polder Zuidelijk Flevoland zo ver gevorderd dat er een afgesloten meer ontstond met een oppervlakte van 45.000 ha: het Flevomeer.
In 1967 zijn de waterhuishouding en de energiehuishouding van het meer onderzocht. Tevens werden metingen verricht van de turbulente fluctuaties van de wind en de temperatuur. In de volgende publicaties zijn de resultaten van het onderzoek vastgelegd.

De Bruin, H.A.R., 1978: A simple model for shallow lake evaporation.
Journal Applied Meteorology 17, 1132-1134.
Abstract.
By combining the empirical model of Priestley and Taylor (1972) and the well-known Penman equation, a simple expression is obtained for evaporation from a shallow lake. This model is tested for a large lake in the Netherlands with an area of about 460 km^2 and an average depth of 3 m. The estimated values of evaporation of 1, 5, 10 and 20 days are compared with energy-budget measurements. The comparison indicates that the proposed model gives good results for periods of 10 days or more.

De Bruin, H.A.R. and J.Q. Keijman, 1979: The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large shallow lake in the Netherlands.
Journal Applied Meteorology 18, 898-903.
Abstract.
The applicability of the model of Priestley and Taylor (1972) for evaporation of saturated surfaces is examined for the former Lake Flevo (The Netherlands). This lake had an area of about 460 km^2 and an average depth of 3 m. Daily values of evaporation in the period July - September 1967, determined with the energy-budget method, are compared with the corresponding estimated values obtained by the Priestley-Taylor model.
The agreement appears to be satisfactory. The diurnal variation of the parameter of the Priestley-Taylor model is found to be pronounced. From standard meteorological observations at Oostvaardersdiep, a station at the perimeter of the lake, and an energy-budget model of Keijman (1974) an indirect extension of the available time series is obtained. In this way energy-budget data for the

period April-October 1967 became available. Analysis of this data set leads to the preliminary conclusion that α has a seasonal variation. This is due to the fact that there is a linear relation between the daily latent heat flux λE and the equilibrium latent heat flux λE_{EQ} with a nonzero intercept.

Keijman, J.Q., 1971: Vergelijking van enige methoden ter bepaling van de verdamping uit een meer (Flevomeer 1967) K.N.M.I. W.R. 71-2.

Samenvatting

De verdamping uit het Flevomeer is berekend met de methoden van de waterbalans en de energiebalans, voorts met de formules van Thornthwaite-Holzman; Lake Hefner en Lake Mead, Sverdrup, Sheppard en Penman. De berekeningen zijn gemaakt met de meetgegevens van het hoofdstation dat ongeveer centraal in het meer was gelegen. Er is in het algemeen een goede overeenstemming tussen de methoden met uitzondering van de formule van Thornthwaite-Holzman die veel te lage uitkomsten geeft. Voor operationeel gebruik komen vooral de energiebalansmethode en de formule van Lake Mead in aanmerking.

Keijman, J.Q. 1974: The estimation of the energy balance of a lake from simple weather data. Bound-Layer Meteorology, 7, 399-407.

Abstract

The energy balance of a lake with an area of approximately 46.000 ha a depth of 3 m has been estimated from simple weather data measured along the perimeter of the lake. These measurements are dry-bulb temperature and relative humidity, both at 1,5 m height, windspeed at 3 m height and sunshine duration. The estimated energy balance values were compared with the values computed from the measurements at the station situated at the centre of the lake. At this station, net radiation, water temperature, dry-bulb and wet-bulb temperature at a height of 2 m were measured. It is possible to estimate the daily evaporation from the lake with an error of 0,6 mm day^{-1}, if the location of measurement is downwind from the lake.

Keijman, J.Q. and R.W.R. Koopmans, 1973: A comparison of several methods of estimating the evaporation of the Lake Flevo. Hydrology of Lakes, Proceedings Helsinki Symposium, IAHS Publication No. 109.

Abstract

Evaporation has been computed for a large shallow

lake according to the water balance method, the energy budget method, the bulk aerodynamic method, Penman's method and the pan factor method. Data for all meteorological methods were collected at one main station in the centre of the lake. At several other recording stations in and around the lake data for the Penman method, precipitation and water levels were recorded.
For certain periods very accurate results were obtained with the water balance method. The energy budget method compared most favourably with the water balance. The bulk aerodynamic method and the Penman method gave satisfactory results with an adapted empirical coefficient.
The results of the pan factor method showed the largest errors.

Koopmans, R.W.R., 1968: De verdamping van open water, resultaten van een waterbalansstudie in Zuidelijk Flevoland. Dienst der Zuiderzeewerken, Afdeling Waterloopkunde Nota B 68-1.
Samenvatting:
In 1966 ontstond tijdens de inpoldering van Zuidelijk Flevoland een meer van ca. 45.000 ha dat werd gebruikt om met behulp van de waterbalansmethode de methode Penman, de methode van het verticaal damptransport en de methode van de energiebalans te toetsen op hun geschiktheid voor de bepaling van de verdamping van het IJsselmeer. De nota gaat in op de toetsing van de verdamping, verkregen met de methode Penman. Daaraan werd toegevoegd de toetsing van de verdamping, verkregen met de verdampingspannen te Urk.
Uit de toetsing werden de volgende voorlopige conclusies getrokken:
- de verdamping, van open water in het IJsselmeergebied blijkt in het algemeen kleiner dan die verkregen met de methode Penman of met de verdampingspannen te Urk;
- na correctie van de uitkomsten van de methode Penman en van die van de verdampingspannen voor de warmteinhoud van het meer blijkt er een duidelijk lineair verband te bestaan met de resultaten van de waterbalans.
  Daarbij is de correlatie voor de drijvende bak beter dan die voor de ingegraven bak of die voor de methode Penman.

Wieringa, J., 1973: Applications of turbulence measurements over Lake Flevo. Doctor of Science dissertation, University of Utrecht, The Netherlands, 96 pp.

Summary

Trivane-measured fluctuations of wind and temperature over an inland lake have been analyzed with regard to:

(I) Trivane measurement procedure ("Tilt errors and precipitation in trivane measurements of turbulent fluxes over open water", page 10);

(II) Gust estimation ("Gust factors over open water and built-up country", page 31);

(III) Stress parametrization ("Comparison of three methods for determining wind stress over a lake", page 49).

The three parts are abstracted separately on the indicated pages. An appendix contains a table with data from 140 ten-minute trivane runs with supplementary data in the wind speed range 4 - 15 m/s.

HOOFDSTUK 3: VERDAMPINGSMETINGEN VOLGENS DE METHODE VAN HET VERTICALE DAMPTRANSPORT EN DE METHODE VAN DE ENERGIEBALANS

3.1 THEORIE

Het turbulent transport van waterdamp dient bezien te worden in samenhang met het turbulent transport van impuls en warmte. De relaties tussen het transport en de gradiënt van de betreffende grootheden worden volgens de similariteitstheorie van Monin-Obukhov (1954) gegeven door

$$\frac{c_k z}{v_*}\frac{dv}{dz} = \phi_{sm}\left(\frac{z}{L_s}\right) \qquad (1)$$

$$\frac{c_k v_* z \rho c_p}{H}\frac{d\Theta}{dz} = \phi_{sh}\left(\frac{z}{L_s}\right) \qquad (2)$$

$$\frac{c_k v_* z \rho}{E}\frac{dq_s}{dz} = \phi_{sv}\left(\frac{z}{L_s}\right) \qquad (3)$$

waarin	c_k	de constante van Von Kármán	(1)
	z	de verticale coördinaat	(m)
	v_*	de wrijvingssnelheid	($m.s^{-1}$)
	v	de windsnelheid	($m.s^{-1}$)
	ρ	de dichtheid van de lucht	($kg.m^{-3}$)
	c_p	de soortelijke warmte van de lucht	($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
	H	de voelbare warmtestroomdichtheid	($W.m^{-2}$)
	Θ	de potentiële temperatuur	(K)
	q_s	de specifieke vochtigheid	(1)
	E	de flux van waterdamp	($kg.m^{-2}.s^{-1}$)
	L_s	de stabiliteitslengte van Obukhov	(m)
	ϕ_{sm}	de stabiliteitsfunctie voor impulstransport	1
	ϕ_{sh}	de stabiliteitsfunctie voor warmtetransport	1
	ϕ_{sv}	de stabiliteitsfunctie voor waterdamptransport	1

Bij de berekening van het warmtetransport ten gevolge van verticale luchtbewegingen wordt de potentiële temperatuur in plaats van de temperatuur T gebruikt, daar eerstgenoemde niet door adiabatische drukvariaties beïnvloed wordt. Nabij het aardoppervlak geldt in benadering

$\frac{d\Theta}{dz} = \frac{dT}{dz} + \Gamma$ waarin Γ

(= - 1°C/100 m) de droogadiabatische temperatuurgradiënt is.

De stabiliteitslengte L_s wordt gedefinieerd door

$$L_s = -\frac{\Theta}{g}\cdot\frac{\rho c_p}{c_k}\frac{v_*^3}{H} \qquad (4)$$

waarin g de versnelling van de zwaartekracht ($m.s^{-2}$) Eliminatie van V_* uit (1) en (3) levert voor het waterdamptransport de uitdrukking

$$E = -\rho c_k^2 \frac{dv}{d \ln z} \cdot \frac{dq_s}{d \ln z} (\phi_{sm} \cdot \phi_{sv})^{-1} \qquad (5)$$

We herleiden (5) nu tot de vorm waarin deze bij het onderzoek in de Rottegatspolder werd gebruikt. Als stabiliteitsparameter bij dit onderzoek werd het getal van Richardson gebruikt. Dit getal wordt gedefinieerd door

$$Ri = + \frac{g}{\theta} \frac{\frac{d\theta}{dz}}{(\frac{dv}{dz})^2} \qquad (6)$$

Bij stabiele en onstabiele toestanden zijn Ri en L_s resp. > 0 en < 0. In het grensgeval van neutrale stabiliteit is $Ri = 0$ en $L_s = \infty$.
Met behulp van onderzoekingen van Deacon (1953, 1957), Pasquill (1949) en Rider (1954) werd de invloed van niet-neutrale toestanden in rekening gebracht met de functie g(Ri) (tabel 3.2)[1]. Deze functie neemt de plaats in van $(\phi_{sm} \cdot \phi_{sv})^{-1}$ in (5). De vraag is nu in hoeverre deze functies overeenstemmen. De beste keuze van de functies ϕ_s voor onstabiele toestanden is

$$\phi_{sv} = \phi_{sh} = \phi_{sm}^2 = (1-16 \frac{z}{L_s})^{-\frac{1}{2}} \qquad (7)$$

(zie Brutsaert, 1982, hst. 4). Uit (1), (3), (6) en (7) volgt nu $Ri = \frac{z}{L_s}$ en

$$g(Ri) = \{ \phi_{sv} (\frac{z}{L_s}) \cdot \phi_{sm} (\frac{z}{L_s}) \}^{-1}$$
$$= (1 - 16 \frac{z}{L_s})^{\frac{1}{4}} \simeq 1 - 12\ Ri \qquad (8)$$

De functie g(Ri) uit (8) stemt voor matig onstabiele toestanden goed overeen met de functie g(Ri) uit tabel 3.2, die bij de berekeningen gebruikt is. Hierbij dient nog opgemerkt te worden dat alleen matig onstabiele toestanden van praktisch belang

1) Voor de berekening van g(Ri) zij verwezen naar het 12e verslag, par. 3.

zijn bij de berekening van de verdamping. Bij stabiele toestanden is er vrijwel geen verdamping en sterk onstabiele toestanden kwamen in de Rottegatspolder vrijwel niet voor. Door de stabiliteit in rekening te brengen worden de berekende verdampingswaarden gemiddeld 10% groter.
Een moeilijk probleem bij metingen boven een begroeid oppervlak is de bepaling van het niveau dat als nulpunt van de z-as genomen moet worden (fig. 3.1). Dit niveau moet uit de windsnelheidsmetingen boven het gewas bepaald worden. Men kiest hiervoor perioden waarin de atmosfeer in goede benadering een neutrale stabiliteit heeft. Dan geldt

$Ri = \frac{z}{L_s} = 0$ en $\phi_{sm} = \phi_{sh} = \phi_{sv} = 1$. Vervangt men z door $z + h_o$ dan heeft men

$$v(z) = \frac{v_*}{c_k} \ln \left(\frac{z+h}{z_o}\right)$$

waarin h_o de nulvlakverplaatsing is. Door v(z) op tenminste 3 hoogten te meten, kan men v_*, z_o en h_o bepalen.

In (5) nemen de gradiënten nu de vorm

$\frac{dv}{d \ln(z + h_o)}$ en $\frac{dq_s}{d \ln(z + h_o)}$ aan waarbij aangenomen wordt dat de nulvlakverplaatsing van het vochtigheidsprofiel gelijk is aan de nulvlakverplaatsing van het windprofiel. Deze vormen zijn om te rekenen tot resp.

$\frac{dv}{d \ln z} f(h_o)$ en $\frac{dq_s}{d \ln z} f(h_o)$ waarin de functie $f(h_o)$, behalve van h_o, van de meethoogten afhangt. In de Rottegatspolder waren de meethoogten 25, 50, 100 en 200 cm boven het gewas. Voor waarden van $f(h_o)$ zij verwezen naar tabel 3.1[1])
Bij de berekeningen werd in plaats van de specifieke vochtigheid q_s de dampdruk gebruikt.
De verdamping werd in $mm.h^{-1}$ uitgedrukt. Men krijgt dan

$$E_d = - \frac{125}{T} \frac{\Delta v}{\Delta \ln z.} \frac{\Delta e}{\Delta \ln z.} \cdot f^2(h_o).g(Ri) \ . \ mm.h^{-1} \qquad (9)$$

1) Nadere informatie voor de gradiëntberekeningen vindt men in het 12e verslag, par. 3.

waarin T de absolute temperatuur (K)

e de dampdruk (mbar)[1)]

Bij de bepaling van de verdamping met de methode van de energiebalans gaat men uit van de energiebalans van het aardoppervlak:

$$Q^* = H + \lambda E + G \qquad (10)$$

waarin	Q^*	de nettostraling	$(W.m^{-2})$
	H	de voelbare warmte-stroomdichtheid	$(W.m^{-2})$
	λ	de verdampingswarmte	$(J.kg^{-1})$
	E	de verdamping	$(kg.m^{-2}.s^{-1})$
	λE	de flux van latente warmte	$(W.m^{-2})$
	G	de bodemwarmtestroom	$(W.m^{-2})$

De grootheden Q* en G werden direct gemeten.
Uit (2), (3) en (7) volgt na omrekening van de specifieke vochtigheid in dampdruk

$$\beta = \frac{H}{E} = c_2 \frac{\Theta(z_1) - \Theta(z_2)}{e(z_1) - e(z_2)} \qquad (11)$$

waarin	β	de Bowen-verhouding	(1)
	c_2	een constante	(0.66 mbar.K -1
	$\Theta(z_1)$, $\Theta(z_2)$	de potentiële temperatuur op de hoogten z_1 en z_2	(K)
	$e(z_1)$, $e(z_2)$	de dampdruk op de hoogten z_1 en z_2	(mbar)

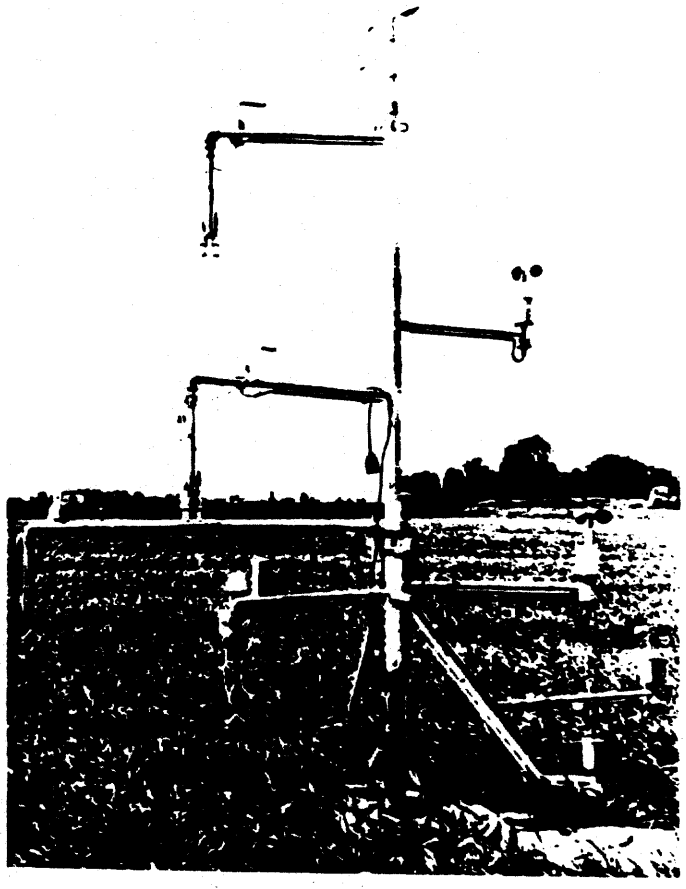
Uit (10) en (11) volgt de verdamping

$$E_e = \frac{1}{\lambda} \frac{Q^* - G}{1 + \beta} \qquad (12)$$

3.2. METINGEN

In de jaren 1947-1953 zijn er metingen verricht op een waarnemingsveldje van 9m x 9 m begroeid met gras. Het perceel waarop het veldje ligt, is tot december 1951 grasland, in 1952 en 1953 bouwland (erwten, bieten). De uitkomsten van de methode van het verticale damptransport werden voor de bovengenoemde periode vergeleken met de verdamping uit de waterbalans van de polder V. Het waterdamptransport werd in deze periode berekend zonder rekening te houden met een eventuele nulvlakverplaatsing en zonder stabiliteitscorrectie. De resultaten zijn samengevat in tabel 3.3.

1) In de verslagen is de dampdruk uitgedrukt in mm-Hg. De constante in (9) is dan 167 in plaats van 125.



Psychrometermast in de Rottegatspolder

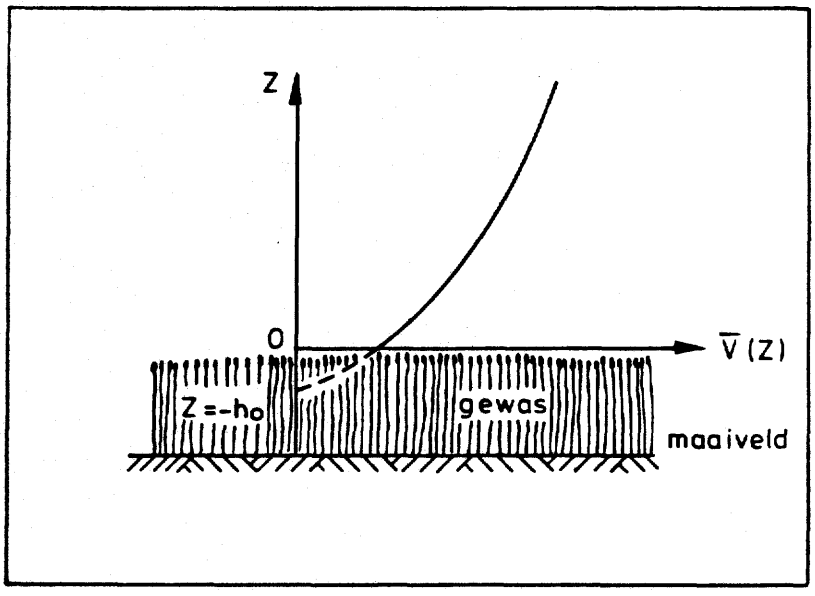


Fig. 3.1 Het windprofiel boven een gewas

In 1947 werd met 1 Assmannpsychrometer omstreeks 8, 14 en 19 uur plaatselijke tijd een serie metingen op de hoogten 25, 50, 100 en 200 cm gedaan waaruit de dampspanningsgradiënt werd berekend. De windsnelheidsgradiënt werd geschat met behulp van de windsnelheid gemeten te Groningen en een geschatte ruwheidslengte van 3 cm voor open grasland. De gemiddelde dagelijkse gang en de maandsommen voor juni-september zijn uit deze metingen bepaald. Het uiterst beperkte instrumentarium in aanmerking genomen is het resultaat redelijk.
In 1948 kwamen 4 anemometers en een mast met 4 registrerende psychrometers in gebruik. De verdamping werd per uur berekend en vervolgens gesommeerd voor de waterbalansperioden van de polder. De overeenstemming van E_d met E_b is voor perioden van een maand matig. De totalen stemmen wel goed overeen.
In 1949 waren de maandsommen van E_d veel lager dan die van E_b behalve voor mei en september. Het totaal van E_d is duidelijk te laag.
In 1950 werden de metingen op dezelfde wijze voortgezet. De overeenstemming van de maandsommen is matig. Wel stemmen de totalen redelijk overeen.
In 1951 waren er instrumentele problemen waardoor zowel de dampdruk- als de windsnelheidsmetingen van twijfelachtige waarde waren. De polderbalansperiode is nu 3 maanden. De waarden van E_d zijn aanzienlijk lager dan die van E_b.
In 1952 werkte het instrumentarium naar behoren maar de terreinomstandigheden waren ongunstig. Door verbouwing van een gewas dat 70 cm hoog werd op het perceel dat het waarnemingsveldje omgeeft, is het terrein zeer inhomogeen geworden. Aan de resultaten der metingen kan weinig waarde worden toegekend.
In 1953 herhaalt deze situatie zich. De redelijke overeenstemming der twee methoden moet als toevallig worden beschouwd.
De periode 1947-1953 moet gezien worden als een aanloopperiode waarin men ervaring heeft opgedaan op instrumenteel gebied. Bij gradiëntmetingen worden hogere eisen gesteld aan de meetnauwkeurigheid dan bij de gebruikelijke metingen. Ook was de toetsing van de uitkomsten van de damptransportmethode tegen de waterbalans van de polder weinig bevredigend. Er is immers in de polder een grote verscheidenheid van landgebruik hetgeen verschillen in verdamping geeft. Bovendien levert een balansperiode van drie maanden zeer weinig toetsingsmateriaal op.
In 1955 werd een nieuwe mast in gebruik genomen met anemometers en psychrometers op 25, 50, 100 en 200 cm boven een instelbaar referentieniveau.
De mast werd ongeveer in het midden van het

drainage-lysimeterveld opgesteld zodat een directe toetsing tegen de waterbalans van het drainage-lysimeterveld mogelijk was. Er werd in dat jaar haver verbouwd dat tot 120 cm hoog werd. Het referentieniveau, z = 0, werd ongeveer bij de top van het gewas gehouden. De uitkomsten waren veel te laag door verwaarlozing van de parameter h_o. De parameter h_o wordt uit windsnelheidsmetingen op tenminste drie hoogten bepaald. Kleine onregelmatigheden in het windprofiel en kleine fouten in de ijking van de anemometers kunnen reeds grote fouten in h_o geven. Een vereiste is dat het gewas homogeen is en dat men speciale meetseries verricht ter bepaling van h_o waarbij de anemometers geregeld verwisseld worden. De ijkverschillen worden dan geëlimineerd.
In 1958 werden voor het eerst op het drainage-lysimeterveld redelijke resultaten met de methode van het verticale damptransport bereikt. De berekeningen zijn gebaseerd op de volledige vergelijking (9). Het gewas was tarwe dat 120 cm hoog werd waarbij h_o 40 à 50 cm bedraagt. Voor de resultaten in 1958 en volgende jaren zie tabel 3.4 en fig. 3.2.
In 1959 werd vlas verbouwd dat 70 cm hoog werd waarbij h_o ca. 40 cm bedraagt.
In 1960 is er op het drainage-lysimeterveld gras dat door maaien kort wordt gehouden.
In de jaren 1961-1965 worden de metingen boven kort gras voortgezet.
Vanaf 1961 werden de metingen machinaal bewerkt met behulp van ponskaarten en de gamma-rekenmachine van het KNMI. De verdamping wordt per uurvak berekend en vervolgens gesommeerd over de balansperioden van het drainage-lysimeterveld.
In 1959 en 1960 werden gedurende enkele weken energie-balansmetingen gedaan. De netto-straling Q* werd gemeten met een stralingsmeter van het type Suomi (1954) en de bodemwarmtestroom G met warmtestroommeters van het type Stafford Hatfield en Wilkins (1950). Uit de psychrometermetingen die voor de methode van het damptransport gebruikt werden, werd de Bowen-verhouding β bepaald. Uit (12) volgt dan de verdamping E_e. Vergelijkt men uurgemiddelden van E_e met die van E_d, berekend met (9), dan constateert men een sterke spreiding. Om deze spreiding te verkleinen zijn per dag voor de uren met storingsvrije metingen gemiddelde waarden berekend (zie tabel 3.6 en fig. 3.3).

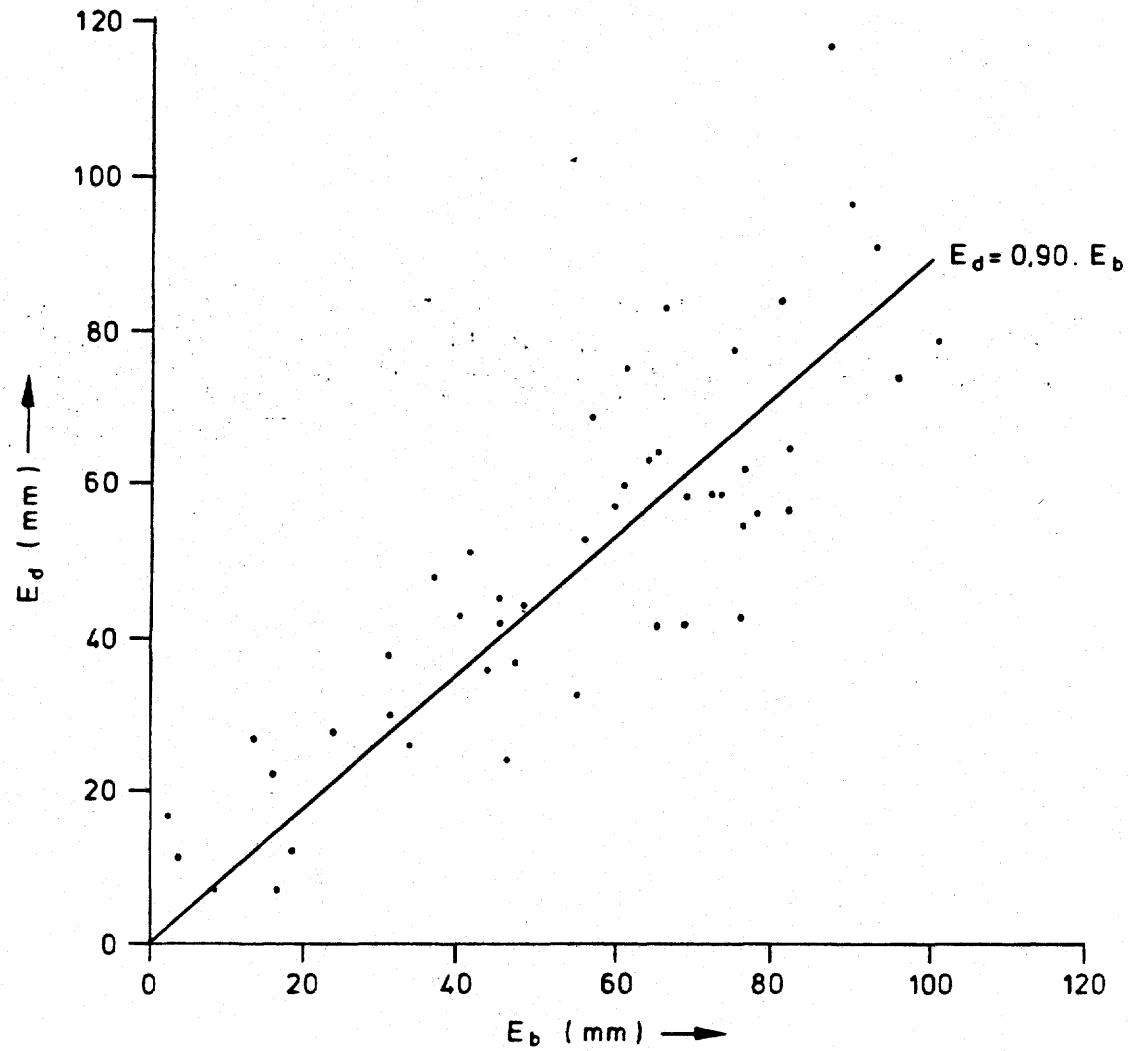


Fig. 3.2 De verdamping voor perioden van ongeveer een maand berekend met de methode van het verticale damptransport (E_d) en uit de waterbalans van het drainage-lysimeterveld (E_b).

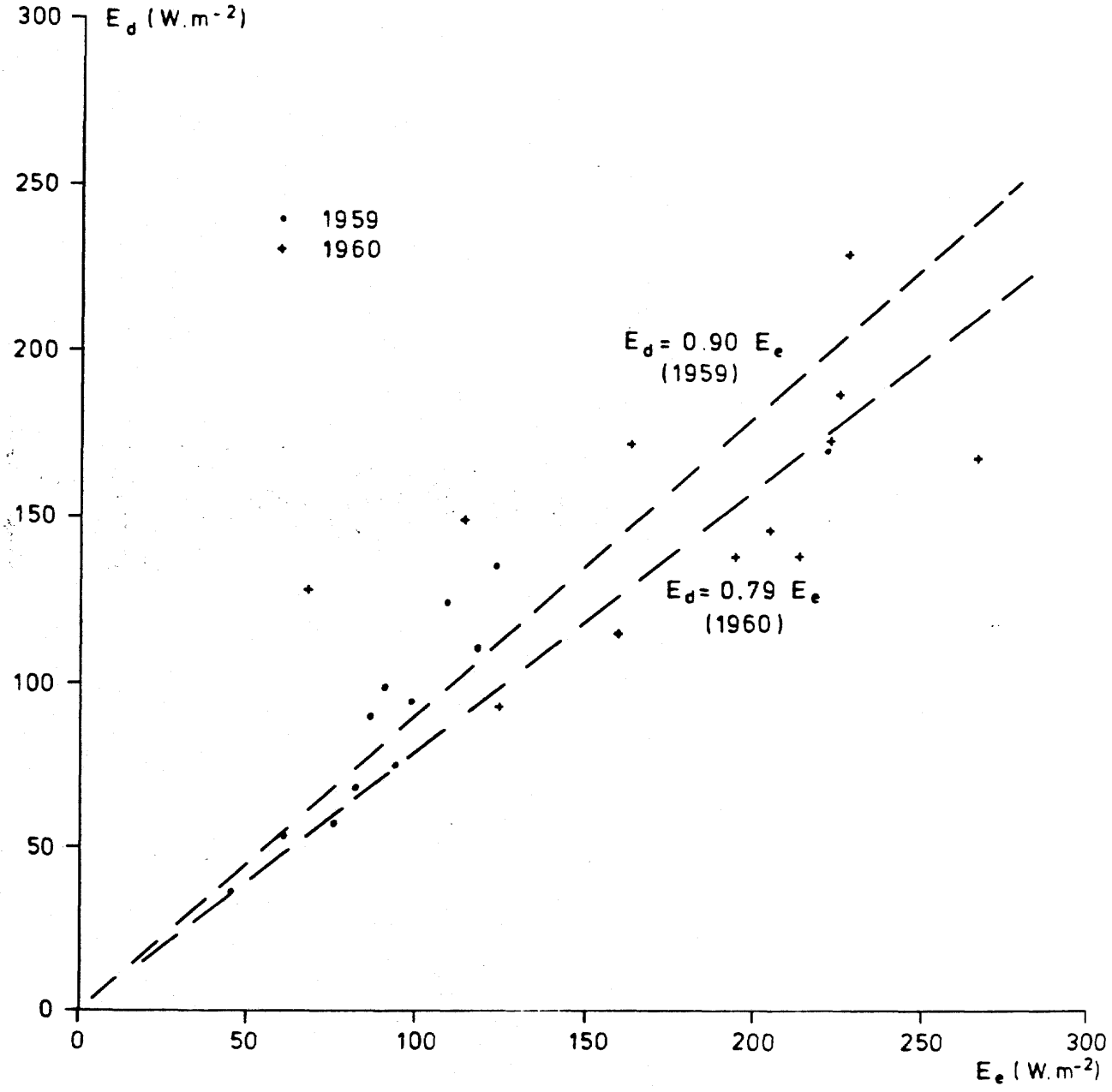


Fig. 3.3 De gemiddelde dagelijkse verdamping berekend met de methode van het verticale damptransport (E_d) en met de methode van de energiebalans (E_e).

3.3. DISCUSSIE

Vergelijkt men de uitkomsten van de methode van het damptransport (E_d) met die van de methode van de waterbalans (E_b), dan blijkt dat het gemiddelde verschil $\overline{E_b - E_d}$ slechts 4 mm bedraagt. Dit is ca. 8% van de gemiddelden $\overline{E}_d$ en $\overline{E}_b$. Het gemiddelde verschil is op de grens van significantie. Berekent men een gemiddelde evenredigheidsfactor a met regressie $E_d = aE_b$, dan vindt men vrijwel hetzelfde resultaat: a = 0,90 (zie tabel 3.5).
Vergelijkt men de uitkomsten van de methode van het damptransport met die van de methode van de energiebalans (E_e), dan blijken deze voor de jaren 1959 en 1960 nogal te verschillen (zie fig. 3.3 en de tabellen 3.6 en 3.7). De intensiteiten waren in 1959 veel lager dan in 1960. In 1959 is E_d gemiddeld ca. 10% kleiner dan E_e waarbij het verschil niet significant van nul verschilt. Dit resultaat is vrijwel gelijk aan het resultaat van de vergelijking van E_d met E_b. In 1960 is E_d gemiddeld ca. 20% kleiner dan E_e waarbij het verschil significant van nul afwijkt. Voor de periode 4-15 juli is de verdamping tevens bepaald uit de waterbalans: E_b = 25 mm. Voor E_d, die continu gemeten is, vinden we 27 mm en voor E_e, niet continu gemeten, als schatting 1.2 E_e = 32 mm. Er is dus een indicatie, maar niet meer dan dat, dat E_e in deze periode aan de hoge kant is.
Het ligt voor de hand om bij de eindbeoordeling van de methode van het damptransport een groter gewicht toe te kennen aan de vergelijking met de methode van de waterbalans dan aan de vergelijking met de methode van de energiebalans. Eerstgenoemde vergelijking heeft betrekking op een periode van een aantal jaren en laatstgenoemde vergelijking slechts op een periode van enkele weken. De conclusie is dat de methode van het damptransport, zoals toegepast in de Rottegatspolder, uitkomsten geeft die vermoedelijk ca 10% te laag zijn. Een fout in deze orde van grootte moet als acceptabel beschouwd worden.
Een groot bezwaar van de methode is de gevoeligheid voor de parameter h_o. Deze gevoeligheid kan verlaagd worden door de meethoogten te vergroten. Zou men de meethoogten verdubbelen, dus op 50, 100, 200 en 400 cm boven het gewas meten, dan worden de waarden van $f(h_o)$ ongeveer gehalveerd. Dit betekent echter dat de vereiste terreinafmetingen verdubbeld worden. De praktische toepasbaarheid van de methode is ten gevolge van de eisen die aan het terrein gesteld worden wat afmetingen en homogeniteit betreft, derhalve zeer beperkt.

Literatuur

Brutsaert, W.H. (1982) Evaporation into the atmosphere, D. Reider Publishing Co., Dordrecht, Holland.

Deacon, E.L. (1953) Vertical profiles of mean wind in the surface layers of the atmosphere. Geophys. Mem. no. 91, Meteorol. Office, London.

Deacon, E.L. (1957) Windprofiles and the shearing stress - an anomaly resolved. Quart. J. Roy. Met. Soc. 83: 537-540.

Monin, A.S. and A.M. Obukhow (1954) Basic laws of turbulent mixing in the atmosphere surface layer. Trudy Geofiz. Inst., Acad. Sci. U.S.S.R., No. 24 (151): 163-187.

Pasquill, F. (1949) Eddy diffusion of water vapour and heat near the ground. Proc. Roy. Soc. London A198: 116-140.

Rider, N.E. (1954) Eddy diffusion of momentum, water vapour and heat near the ground. Phil. Trans. Roy. Soc. London A 246: 481-501.

Stafford Hatfield, H. and F.J. Wilkins (1953) A new heat-flow meter. J. Sci. Instr., 27: 1-3.

Suomi, V.E., M. Fransilla and N. Islitzer (1954) An improved net radiometer. J. Met.., 11: 276-282.

Thornthwaite, C.W. and B. Holzmann (1939) The determination of evaporation from land and water surfaces. Monthly Weath. Rev. 67: 4-11.

Thornthwaite, C.W. and B. Holzmann (1942) Measurement of evaporation from land and water surfaces. US Dept. of Agric., Technical Bulletin no. 817, Washington, D.C.

Tabel 3.6

Verdamping berekend volgens de methode van het damptransport (E_d) en de methode van de energiebalans (E_e) gemiddeld over n uren per dag

Datum	E_d (Wm^{-2})	E_e ($W.m^{-2}$)	n (uren)
11/8/59	68	82	11
12	57	76	6
13	170	223	9
14	110	119	8
17/9/59	95	99	9
18	75	95	6
21	53	61	8
22	135	124	8
23	99	91	7
24	124	110	6
25	90	87	9
4/7/60	229	229	6
5	92	126	6
6	115	161	12
7	172	165	10
8	128	69	7
9	138	195	6
10	149	115	6
11	186	227	10
12	168	268	9
13	172	224	8
14	145	206	9
15	138	214	9

Tabel 3.7

Vergelijking van de verdamping berekend volgens de methode van het damptransport (E_d) en de methode van de energiebalans (E_e).

	n	$\overline{E}_d$	$\overline{E}_e$	$S_{E_d - E_e}$	$S_{\overline{E_d - E_e}}$	r	a
	(dagen)	($W.m^{-2}$)	($W.m^{-2}$)	($W.m^{-2}$)	($W.m^{-2}$)	-	-
1959	11	98	106	19	6	0,90	0,90
1960	12	153	183	47	13	0,59	0,79
1959/60	23	126	146	37	8	0,82	0,82

n : aantal dagen met waarneming

$\overline{E}_d$, $\overline{E}_e$: gemiddelde waarden

$S_{E_d - E}$: standaarddeviatie van $E_d - E_e$

$S_{\overline{E_d - E_e}}$: standaarddeviatie van $\overline{E_d - E_e}$

r : correlatiecoëfficiënt

a : coëfficiënt van de regressie $E_d = a\ E_e$

HOOFDSTUK 4: DE BEPALING VAN DE GROOTTE DER VERDAMPING UIT DE ROTTEGATSPOLDER VOLGENS DE METHODE VAN DE WATERBALANS.

4.1 ALGEMEEN

De grootte van de verdamping uit de Rottegatspolder als geheel is bepaald met behulp van de formule voor de waterbalans. Deze formule heeft de volgende gedaante:

$$P + I + K = L + \Delta V_g + \Delta V_s + V \qquad (1)$$

waarin:
- P = neerslag
- I = ingelaten water
- K = kwel (+) of inzijging (-)
- L = geloosd water
- ΔV_g = vermeerdering (+) of vermindering (-) van het in de grond aanwezige bodemwater, (grondwater en bodemvocht).
- ΔV_s = vermeerdering (+) of vermindering (-) van het in de sloten en plassen aanwezige water.
- V = verdamping

De verdamping V wordt berekend als sluitpost van de waterbalans. Deze volgt uit bovenvermelde formule (1):

$$V = P + I + K - L - \Delta V_g - \Delta V_s \qquad (2)$$

De grootheden P, I , K, L, ΔV_g en ΔV_s, die door meting en/of berekening zijn vastgesteld, zijn uitgedrukt in mm waterschijf over een oppervlakte van 86,6 ha. De werkelijke oppervlakte van de Rottegatspolder is volgens kadastrale gegevens 83,1 ha. Rekening is gehouden met een randgebied rondom de polder, dat invloed heeft op de waterhuishouding ervan en dat in totaal 3,5 ha groot is.

Van bovengenoemde grootheden zijn enkele rechtstreeks in mm gemeten, andere zijn herleid tot mm waterschijf. De kwaliteit van de meetuitkomsten werd destijds beoordeeld aan de hand van de standaardafwijking (is niet onbedenkelijk).
De lengte van de balansperioden is in de loop van het onderzoek nogal eens gewijzigd, afhankelijk van de wijze van bepaling van de verandering van het in de grond aanwezige bodemwater. Werd tijdens de eerste jaren van het onderzoek (augustus 1947 tot oktober 1950) voor deze perioden in principe één maand aangehouden, in verband met een ingrijpende wijziging van de bemonsteringsmethode (zie par. 4.2.e) werd met ingang van oktober 1950 overgegaan op balansperioden van drie maanden. De invoering van neutronische metingen in december 1960 maakte het tenslotte weer mogelijk om op maandelijkse balansperioden over te gaan.

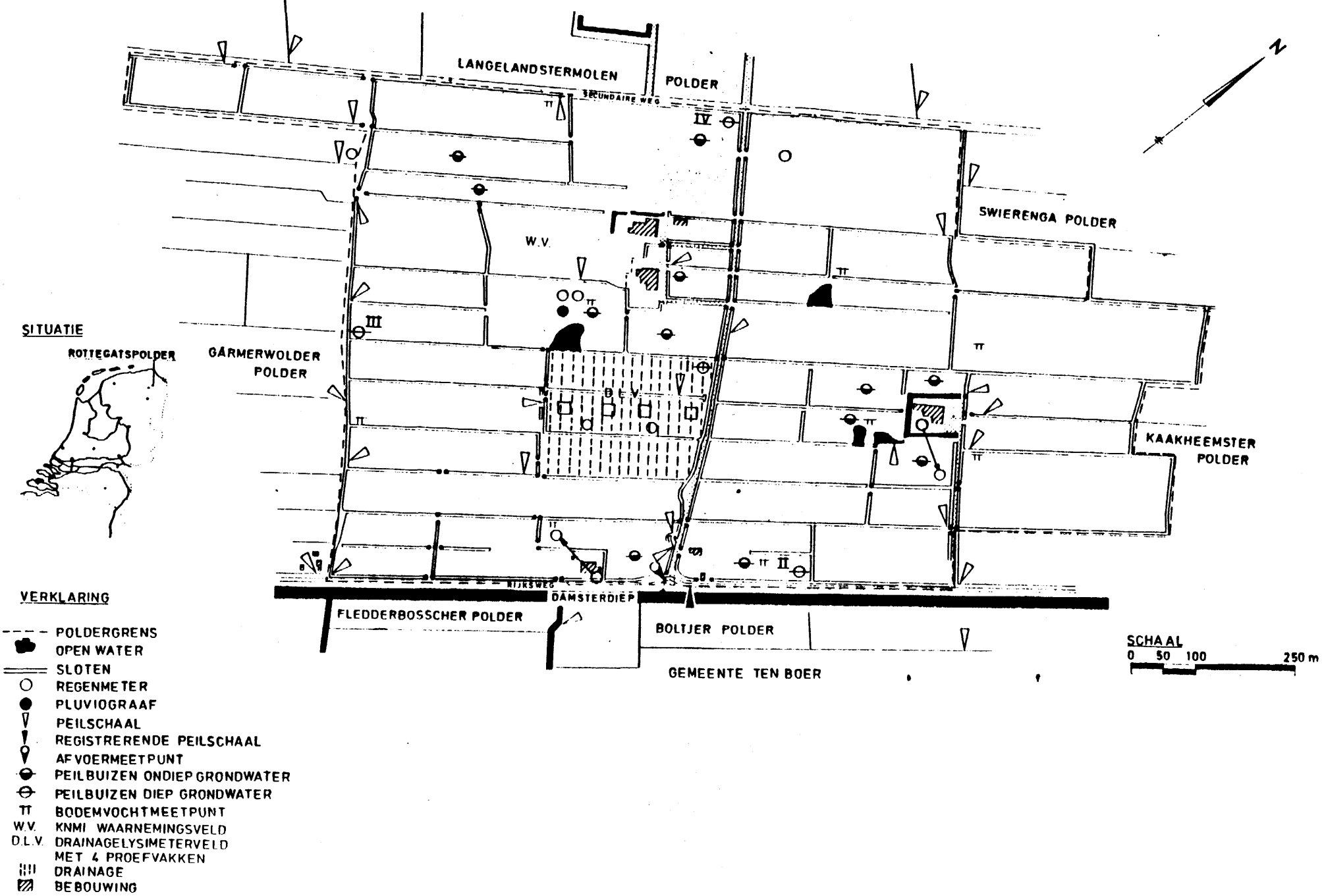


fig. 4.1 Overzichtstekening Rottegatspolder.

4.2 WAARNEMINGEN EN WAARNEMINGSRESULTATEN

Vanaf 1 augustus 1947 tot en met 1 februari 1971 zijn regelmatig waarnemingen verricht voor het bepalen van de grootheden in formule (2). Figuur 4.1 geeft een overzicht van de locaties van de verschillende waarnemingspunten. In de waarnemingsperiode hebben zich verschillende wijzigingen voorgedaan in de wijze van bepaling der verschillende grootheden. Eerdergenoemde grootheden zullen hieronder afzonderlijk worden behandeld.

a. Neerslag P

Voor het meten van de neerslag werden verschillende regenmeters geplaatst, die verspreid over de polder stonden opgesteld. De spreiding van de regenmeters over de polder en de opstellingen waren zodanig gekozen dat naar verwachting een zo juist mogelijk beeld van de gevallen neerslag kon worden verkregen.

Stonden in de beginperiode 5 regenmeters (nrs 1 t/m 5) opgesteld, in de loop van dit onderzoek is het aantal enkele malen uitgebreid tot in totaal 10 stuks (nrs. 1, 1A, 1B, 1C, 2 t/m 7), waaronder 1 pluviograaf nl. nr. 1C.

Van deze 10 regenmeters is voor de regenmeters nr. 1 en 1C de Engelse opstelling toegepast; dit houdt in dat de regenmeter is omringd door een cirkelvormige aarden wal, waarvan de bovenkant in hetzelfde horizontale vlak ligt als de bovenkant van de regenmeter, op ongeveer 40 cm boven het maaiveld. De wal heeft een binnenwerkse diameter van 3 meter en is aan de binnenzijde vertikaal begrensd; aan de buitenzijde is een flauw hellend talud (1:4) aangebracht. In het midden van de door de wal omsloten ruimte staat de regenmeter opgesteld.

Voor de overige regenmeters is de zgn. normale opstelling toegepast, dat wil zeggen de bovenkant van de opvangtrechter bevindt zich ongeveer op 40 cm boven het omringende maaiveld. De regenmeters nr. 6 en 7, die geplaatst zijn ten behoeve van het drainage-lysimeterveld, konden bovendien nog in vertikale richting bewogen worden zodat deze steeds op 40 cm boven het gewas-oppervlak gesteld konden worden. Alle regenmeters hadden een opvangopening van 4 dm^2.

In verband met de grote verschillen in neerslag, die af en toe gemeten werden met de diverse regenmeters zijn er enkele in de loop van het onderzoek verplaatst. Dit is aangegeven in tabel 4.1. In deze tabel is ook aangegeven van welke regenmeters de waarnemingen zijn gebruikt voor het bepalen van de gemiddelde neerslag.

Hoewel de gewijzigde opstellingen leidden tot betere waarnemingen is vanaf de 6e verslagperiode toch gekozen voor een andere berekeningswijze. Omdat met regenmeter nr. 1 (Engelse opstelling) steeds meer neerslag werd opgevangen dan met de overige regenmeters, zijn vanaf de 6e verslagperiode correctiefactoren bij de berekening toegepast.
Uit het bovenvermelde blijkt duidelijk, dat de opstelling van de regenmeters van grote betekenis is voor de nauwkeurigheid van de meting. In de loop der jaren is hier vrij veel onderzoek naar verricht. In dit verband kan verwezen worden naar een artikel van ir. P.M.M. Warmerdam in het tijdschrift H_2O, 1981 nr. 1: "De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend onderzoek".

Als toelichting op tabel 4.2 dienen nog de volgende opmerkingen gemaakt te worden:

- vanaf het 12e verslagjaar zijn voor de bepaling van de correctiefactor bij de berekening van de gemiddelde neerslag de waarnemingen aan regenmeter 1A vervangen door die aan regenmeter 1B, aangezien verwacht werd dat deze regenmeter het best de regen in het open veld zou representeren. Het waarnemershuisje zou de neerslag bij regenmeter 1A beïnvloeden;
- de waarnemingen aan de regenmeters nr. 6 en 7 zijn bij de berekening steeds gemiddeld daar deze regenmeters vlak bij elkaar geplaatst zijn op het drainage-lysimeterveld;
- in de loop van het onderzoek (nov.'54) is een pluviograaf in Engelse opstelling (nr.1C) geplaatst, i.v.m. het verkrijgen van meer inzicht in de verdeling van de intensiteit van de neerslag in de tijd. Deze waarnemingen zijn echter niet gebruikt voor de berekening van de gemiddelde neerslag maar slechts ter vergelijking met de overige waarnemingen.

Een probleem leverde de meting van de neerslag in de vorm van sneeuw, in het bijzonder ten tijde van sneeuwstormen wanneer vrijwel niets in de regenmeters werd opgevangen. De bepaling hiervan werd gedaan door schattingen. Hiertoe werd in de polder de hoogte van het sneeuwdek gemeten en de totale hoeveelheid geschat in m^3. Aangenomen werd dat 1 m^3 sneeuw ongeveer 0,25 m^3 water bevatte, die weer werd herleid tot mm waterschijf (zie hiervoor par. 4.5 opm. 2). Aanhangsel 4.1 geeft een overzicht van de gemiddelde neerslag in mm per balansperiode.

Tabel 4.1. Overzicht van de bij de bepaling van de gemiddelde neerslag gebruikte regenmeters

Verslag nummer en - periode		regenmeters 1*	1_a	1_b	1_c**	2	3	4	5	6	7
1	1-8-'47/1-10-'47	x				x	x	x	x		
2	1-10-'47/5-10-'48	x					x	x	x		
3	5-10-'48/4-10-'49	x					x	x	x		
						verplaatst 1-11-'49					
4	4-10-'49/2-10-'50	x					x	x	x		
5	2-10-'50/4-10-'51	x				x	x	x	x		
								42 cm	17 cm		
						verplaatst 24-4-'52	verplaatst 25-4-'52	verhoogd 26-4-'52	verhoogd 25-4-'52		
6	4-10-'51/4-11-'52	x				x	x	x	x		
7	4-11-'52/27-10-'53	x				x	x	x	x		
8	27-10-'53/3-11-'54	x	x			x	x	x	x	x	x
9	3-11-'54/1-12-'55	x	x			x	x	x	x	x	x
10	1-12-'55/7-12-'56	x	x			x	x	x	x	x	x
11	7-12-'56/6-12-'57	x	x			x	x	x	x	x	x
12	6-12-'57/5-12-'58	x		x		x	x	x	x	x	x
13	5-12-'58/4-12-'59	x	x	x		x	x	x	x	x	x
14	4-12-'59/8-12-'60	x		x		x	x	x	x	x	x
15	8-12-'60/7-12-'62	x		x		x	x	x	x	x	x
16	7-12-'62/12-1-'65	x		x		x	x	x	x	x	x
17	12-1-'65/6-1-'67	x		x		x	x	x	x	x	x
18	6-1-'67/21-1-'69	x		x		x	x	x	x	x	x
19	21-1-'69/2-2-'71	x		x		x	x	x	x	x	x
geinstalleerd:		1947	apr/ mei 1953	dec 1957	nov 1954	1947	1947	1947	1947	mei 1953	mei 1953

*) regenmeter in Engelse opstelling
**) pluviograaf in Engelse opstelling

Tabel 4.2 Overzicht van de verschillende toegepaste berekeningswijzen voor de gemiddelde neerslag $\overline{P}$.

Verslagperiode	gemiddelde neerslag $\overline{P}$ (mm)	gebruikte correctiefactor [1]
1	$= \frac{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5}{5}$	-
2,3,4	$= \frac{P_1+P_3+P_4+P_5}{4}$	-
5	$= \frac{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5}{5}$	-
6,7	$= P_1$ [2]	-
8,9,10,11	$= \frac{P_1+C_a\left[P_2+P_3+P_4+P_5+(P_6+P_7)\right]}{6}$	$C_a = \frac{P_1}{P_{1a}}$
12	$= \frac{P_1+C_b\left[P_2+P_3+P_4+P_5+(P_6+P_7)\right]}{6}$	$C_b = \frac{P_1}{P_{1b}}$
13	$= \frac{C_b\left[\frac{1}{2}(P_{1a}+P_{1b})+P_2+P_3+P_4+P_5+\frac{1}{2}(P_6+P_7)\right]}{6}$	idem
14 t/m 19	$= \frac{P_1+C_b\left[P_2+P_3+P_4+P_5+\frac{1}{2}(P_6+P_7)\right]}{6}$	idem, resp. $\overline{C}_b$ [3]

Opm. 1. De correctiefactoren zijn bepaald per balansperiode.
2. Wordt in het 6e en 7e rapport anders weergegeven.
3. Alleen voor de 16e verslagperiode is als correctiefactor ingevoerd de gemiddelde correctiefactor $\overline{C}_b$ van de vijf voorafgaande jaren van de overeenkomende maanden.

b. Ingelaten hoeveelheid water I

Bij de inrichting van de Rottegatspolder als proefveld waren in 1947 geen speciale voorzieningen getroffen voor de bepaling van de hoeveelheid ingelaten water. Waterinlating in droge perioden had vrijwel nooit plaats en een voorheen daarvoor bestemd inlaatsluisje was verwijderd.
Hierdoor werd geen aanleiding gevonden daarvoor speciale voorzieningen te treffen.
Al in het eerste verslagjaar is vanwege de droge zomer tweemaal water ingelaten, nl. in augustus en september 1947. De boeren hebben dit water ingelaten door een geul in de westelijke dijk van het Damsterdiep te graven.
Ook in het tweede verslagjaar is door de boeren weer op dezelfde manier, water ingelaten (november 1947).
In januari 1948 is boezemwater in de polder gelopen door overstroming vanuit het Damsterdiep.
Aangezien in zowel het eerste als het tweede verslagjaar water was ingelaten vanwege de droogte is in 1949 een inlaatduiker met een meetschot gebouwd, die in juni 1949 gereed kwam. De daarop volgende jaren is regelmatig water ingelaten waarvan de hoeveelheden bepaald konden worden door de duur van inlating en de overstorthoogte boven de onderrand van het meetschot te meten.
Voor het eerste verslagjaar kon de ingelaten hoeveelheid water achteraf berekend worden dank zij de aanwezigheid van een groot aantal peilschalen en de bekendheid met de breedte van de waterspiegel in elke poldersloot bij een bepaald peil.
Voor de tweede en vierde balansperiode in het tweede verslagjaar was dit niet mogelijk in verband met lekkages, die nog optraden ten gevolge van de door de boeren gegraven geul.
Dientengevolge moest de berekening van de verdamping voor beide balansperioden achterwege blijven.
Nadat de inlaatduiker en het meetschot in juni 1949 gereed gekomen waren is met behulp van stroommetingen een betrekking afgeleid tussen de overstorthoogte boven de onderrand van het meetschot en de over het meetschot gevoerde hoeveelheid water. Aan de hand van deze betrekking werd een capaciteitskromme samengesteld.

c. Kwel (of inzijging) K

Om te kunnen vaststellen in hoeverre in de Rottegatspolder kwel, dan wel waterverlies door inzijging optrad, werden reeds in 1946 in de polder vier boringen uitgevoerd, waarin op verschillende diepten in totaal acht waarnemingsfilters werden gesteld ter bepaling van de stijghoogte van het diepe grondwater. De verdeling en de nummering der filters over de vier boringen alsmede de diepte daarvan is aangegeven in tabel 4.3. Bovendien werden in de polder nog tien ondiepe grondwaterstandsbuizen - alle op gelijke diepte nl. twee meter onder maaiveld - geplaatst. De punten van opstelling,zowel van de diepe filters als van de ondiepe grondwaterstandsbuizen in de polder, zijn in figuur 4.1 aangegeven.

De hierboven genoemde filters bestonden uit stalen buizen met een inwendige diameter van 2,5 cm, waarvan de onderste meter geheel was geperforeerd. De opstelling van de buizen was voorts zo gekozen dat zij ongeveer 50 cm doorliepen tot boven het maaiveld. Het meten van de stijghoogten van het diepe grondwater in de filters werd verricht met behulp van een peilklokje.

De tien grondwaterstandsbuizen bevonden zich alle op gelijke diepte namelijk ongeveer twee meter onder het maaiveld. Deze buizen waren evenals de filters van staal (met dezelfde doorsnede) en liepen door tot ongeveer 20 cm boven het maaiveld. Het gedeelte buis, dat onder maaiveld reikte, was voorzien van gaatjes en het geheel was stevig met jute omwikkeld.

Tabel 4.3 Overzicht filterdiepten van de diepe boringen

boring	diepte filter in m t.o.v. NAP		
	filter 1	filter 2	filter 3
I	-16,33	-25,33	-45,34
II	-10,62	-	-
III	-13,30	-24,94	-
IV	-14,24	-24,98	-

Al aan het einde van de eerste verslagperiode werd geconcludeerd dat de kwel (positief of negatief) te verwaarlozen was. De verschillen welke optraden tussen de stijghoogten in de vier boringen onderling waren gering en werden beschouwd als van toevallige aard. Het bestaan van kwelstromingen van enige betekenis naar of van de polder werd hierdoor uitgesloten geacht.

d. Lozing L

De lozing van overtollig water had plaats door middel van een elektrisch aangedreven vijzel. In december 1952 is de vijzel van de bemalingsinstallatie vernieuwd en op 2 januari 1953 kon het gerestaureerde vijzelgemaal weer in gebruik worden genomen. In die tussentijd werd gebruik gemaakt van een hulp-pompinstallatie.

Reeds bij de aanvang van het verdampingsonderzoek werd aan de hand van talrijke metingen voor de opbrengst van het vijzelgemaal van de Rottegatspolder een capaciteitskromme samengesteld. Met behulp van die kromme was het later mogelijk, wanneer de lozingstijd en het verloop van de binnenwaterstand gedurende het lozen bekend was, de uitgeslagen hoeveelheid water uit de Rottegatspolder in m^3 per lozing vast te stellen. Voor het registreren van de binnenwaterstand waren zowel een vaste als een registrerende peilschaal opgesteld.

De hoeveelheid uitgeslagen water werd aanvankelijk bepaald door aan het begin en einde van de lozing alsmede enkele keren tijdens de lozing de waterstand aan de vaste peilschaal af te lezen. Deze standen werden vervolgens tegen de tijd uitgezet en door rechte lijnen met elkaar verbonden. Met behulp van de zo gevonden grafiek en de capaciteitskromme werd de totale lozing berekend. De registratiebladen van de peilschrijver dienden slechts ter controle.

Deze zeer bewerkelijke methode was echter tamelijk onnauwkeurig door afleesfouten aan de vaste peilschaal waardoor de bovengenoemde grafiek niet het juiste verloop van de binnenwaterstand met de tijd weergaf.

De hierboven genoemde bezwaren hebben er tenslotte toe geleid dat met ingang van december 1956 (11e verslagjaar) een eenvoudiger maar bovendien nauwkeuriger bewerkingsmethode werd ontwikkeld. Voor het verloop van de waterstand tijdens de lozing werd nu uitgegaan van de registratiebladen van de peilschrijver. Door de traagheid van het mechanisme van de peilschrijver waren de waterstanden nauwkeuriger (geen afleesfouten door het onrustige wateroppervlak en de aflezingen 's nachts). Bovendien gaf de registratie een beter beeld van het verloop van de waterstand. Voor de bepaling van de hoeveelheid uitgeslagen water was een nomogram ontworpen op dezelfde schaal als die waarop de stroken van de peilschrijver waren gemaakt. De talrijke gegevens, waarmee de capaciteitskromme van het vijzelgemaal was samengesteld, hebben als basis gediend voor het ontwerpen van dit nomogram. Met behulp van dit nomogram en de re-

gistratiebladen van de peilschrijver kon op eenvoudige wijze de lozing bepaald worden; ook leidde deze methode tot nauwkeuriger uitkomsten.

e. Verandering bodemwater ΔV_g

Voor de bepaling van de verandering in de hoeveelheid bodemwater zijn in dit onderzoek twee methoden toegepast. Tot in het 15e verslagjaar (dec.'61) werden de veranderingen in het bodemwater bepaald met behulp van grondmonsters waarvan het vochtgehalte werd vastgesteld. Vanaf het 14e verslagjaar werden voor het eerst naast bovengenoemde methode de veranderingen in het bodemvocht bepaald door middel van neutronische metingen. Het vaststellen van de wijziging van het bodemwater door middel van vochtbemonsteringen vormt één van de moeilijkste problemen vanwege het feit dat aan de volgende voorwaarden niet kan worden voldaan:

- ieder monsterveldje moet wat bodemgesteldheid betreft volkomen homogeen zijn;
- de grootte van het gedeelte van de polderoppervlakte, dat door elk veldje wordt vertegenwoordigd, moet bekend zijn.

De variaties in de hoeveelheid van het bodemwater naar plaats en tijd die ontstaan door de heterogeniteit van de bodem en door de wijze van monsterneming en de vochtbepaling zelf werden van minder betekenis geacht. Aan bovengenoemde aspecten is bij dit onderzoek veel aandacht besteed. Om de heterogeniteitsfout te beperken zijn gedurende de eerste 5 verslagjaren verschillende methoden van bemonstering toegepast, variërend van vele monsterveldjes met één of enkele bemonsteringspunten per veldje tot enkele monsterveldjes met vele bemonsteringspunten per veldje. Tabel 4.4 geeft een overzicht van de verschillende bemonsteringsmethoden.

Aan het einde van het 4e verslagjaar kwam men tot de conclusie dat de grote verschillen in vochtgehalteveranderingen van plaats tot plaats niet alleen worden veroorzaakt door de heterogeniteit van de bodem maar eveneens het gevolg zijn van de plaatselijke verschillen in verdamping. Het werd praktisch onuitvoerbaar geacht met de toen beschikbare methoden en middelen de verdamping van de gehele polder voor korte perioden te berekenen met behulp van de waterbalans; daarvoor zou het aantal maandelijks te bemonsteren plaatsen nl. zeer veel groter moeten zijn.

Met ingang van het 5e verslagjaar is men overgegaan van maandelijkse naar driemaandelijkse

balansperioden. Alleen in dit 5e verslagjaar heeft men de grondvochtbemonsteringen beperkt tot die in het begin van de maanden april, juli en oktober in verband met de overweging dat de orde van grootte der standaardafwijkingen van de veranderingen in hoeveelheid bodemvocht zelfs te hoog lag om voor de opstelling van de waterbalansen voor de winterkwartalen oktober t/m december en januari t/m maart aanvaard te kunnen worden, daar zij een te groot gedeelte van de in die kwartalen voorkomende verdamping zouden uitmaken.
Tot in het 7e verslagjaar worden van ieder bemonsteringspunt de vochtgehalten van 9 grondmonsters bepaald, ontleend aan de lagen van 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, en van 120-140 cm beneden maaiveld. Daar onder werd zij verondersteld constant te zijn.
Met ingang van augustus 1953 vond de bemonstering slechts plaats tot aan het freatisch oppervlak. Beneden dit niveau werd de bodem met water verzadigd verondersteld, met een vochtinhoud gelijk aan het poriënvolume. Daartoe moesten één keer de poriënvolumini worden bepaald en wel uit het reeds bepaalde volumegewicht door middel van de betrekking.

$$PV = 100 \left(1 - \frac{VG}{\rho_b} \right) \qquad (3)$$

waarin: PV = poriënvolume (vol %)
VG = volumegewicht van de bodem (g/cm^3)
ρ_b = soortelijk gewicht van de grond (g/cm^3)

Verder werden nog enkele kleine veranderingen toegepast zowel in de methode van bemonstering als in die van bewerking. Hiervoor wordt verwezen naar het 7e verslag waarin deze veranderingen uitvoerig worden beschreven.

In het 14e verslagjaar werden voor het eerst wijzigingen in het bodemvocht bepaald door middel van neutronische metingen. Hiertoe werden in april 1960 op negen over de polder verspreid liggende plaatsen twee buizen geplaatst, waarin de diepte-sonde voor neutronische metingen van het vochtgehalte in de bodem kon worden neergelaten. De ligging van deze plaatsen is aangegeven in figuur 4.1.
Voor de metingen werden twee diepte-sondes gebruikt, waarmee tot enkele decimeters onder het freatisch oppervlak werd gemeten en per buis op verschillende dieptentwee à drie metingen wer-

den verricht. Tevens werd een oppervlaktesonde gebruikt. Voor de ijking en de berekeningswijze wordt verwezen naar het 14e verslag waarin deze bepalingsmethode wordt toegelicht.
In het 15e verslagjaar zijn zowel de neutronische vochtmetingen als de bodemvochtbemonsteringen uitgevoerd. In tegenstelling tot de bodemvochtbemonsteringen die driemaandelijks werden verricht, vonden de neutronische vochtmetingen maandelijks plaats (snelle methode). Een voordeel van het gebruik van sondes is dat steeds op dezelfde plaats gemeten kan worden.
De gevonden resultaten van beide bepalingsmethoden bleken onderling te verschillen, waarvoor de volgende oorzaken aangewezen konden worden:

- het niet tot dezelfde diepte bemonsteren of neutronisch meten aan het begin en eind van een balansperiode;
- voor een aantal gevallen het ontbreken van metingen met de oppervlakte-sonde;
- het trekken van vochtmonsters uit de oppervlaktelagen en het meten met de oppervlaktesonde waren op verschillende tijdstippen geschied.

Ook het vaststellen van de verandering van het bodemvocht door middel van neutronische metingen leverde in de loop van het onderzoek problemen als gevolg van:

- storingen van de nucleaire apparatuur, waardoor de balansperioden langer werden dan was bedoeld;
- onverklaarbare wijzigingen in gemeten vochtgehalte bij overgang van het ene apparaat op het andere op de diepste niveaus;
- onvoldoende controlemogelijkheid omdat de resultaten van de bodemvochtmetingen pas na geruime tijd ter beschikking kwamen.

f. Toeneming van het in de sloten geborgen water ΔV_s

Voor de bepaling van de toeneming of afneming van het in de sloten geborgen water zijn in het begin van de onderzoeksperiode van alle 150 sloten de breedten van de waterspiegel opgemeten bij een bepaald peil. De waterbergende oppervlakte bij daarvan afwijkende peilen werd voorlopig bepaald door taluds van 1 op 1 in rekening te brengen. Met behulp van de resultaten van waarnemingen aan 22 in de polder geplaatste peilschalen en de waterbergende oppervlakte werd de hoeveelheid geborgen water berekend.
Nadien zijn de breedten van de sloten bij verschillende peilen gemeten. Zo werd tenslotte in

het 7e verslagjaar een verband bepaald tussen het polderpeil en de waterberging.
Nadat dit verband in de daarop volgende jaren enkele malen iets gewijzigd is, werden in het 12e verslagjaar van alle sloten opnieuw de breedten gemeten bij variërende waterstanden. Dit hield enerzijds verband met de profielswijzigingen, die in de loop der jaren van het verdampingsonderzoek hadden plaatsgevonden, bijvoorbeeld door het geleidelijk dichtgroeien en dichtploegen van de sloten, anderzijds door het uitdiepen van de sloten. Bovendien waren in de polder enkele sloten gedempt.
Met behulp van deze metingen werd een nieuwe kromme samengesteld voor het totale wateroppervlak bij peilen variërend van N.A.P. - 1,45 m tot N.A.P. - 1,675 m. Dankzij het goede onderhoud van de watergangen kon de laatste jaren bij benadering een vast polderpeil, te weten N.A.P. - 1,60 m, worden gehandhaafd.

Waterinlaat meetschot - Rottegatspolder

Tabel 4.4 Overzicht van de verschillende bemonsteringsmethoden van het bodemvocht.

verslagjaar/periode	1	2		3	4		5	6	7 t/m 15 1e helft
	1-8-'47/ 1-10-'47	1-10-'47/ 31-6-'48	31-6-'48/ 5-10-'48	5-10-'48/ 4-10-'49	4-10-'49/ 3-1-'50	3-1-'50/ 2-10-'50	2-10-'50/ 4-10-'51	4-10-'51/ 4-11-'52	4-11-'52/ 7-12-'61
frequentie van de bepalingen	M*	M	M	M	M	M	3M*	3M	3M
aantal bemonsterings-veldjes	31	31	2x31	31	31	5	10	10	10
aantal boorveldjes per bemonsteringsveld	-	-	-	-	-	-	-	-	2
aantal bemonsterings-punten per bemon-steringsveld/boorveld	2	2	1	3	3	30	30	30	30

*) M = maandelijks
3M = drie-maandelijks

Opmerkingen 1. In het 4e verslagjaar zijn tevens verschillende andere bemonsteringsmethoden toegepast, ook op het drainage-lysimeterveld (zie rapport 4e verslagperiode, pag. 24-33)

2. Vanaf het 14e verslagjaar (april 1960), werden de wijzigingen in het bodemvocht eveneens bepaald d.m.v. neutronische metingen. Deze bepalingsmethode verving m.i.v. de 2e helft van het 15e verslagjaar de klassieke methode.
De neutronische metingen werden maandelijks verricht op negen in de polder verspreid liggende plaatsen.

4.3 VERDAMPING

De verdamping V is berekend door deze gelijk te stellen aan de algebraïsche som van de termen P, I, K, L, Δ Vg en ΔVs(formule 2).
In par. 4.2.c is reeds vermeld dat de kwel, positief of negatief, verwaarloosbaar kan worden geacht. Aanhangsel 4.2 geeft een samenvatting van de beschouwde elementen van de waterbalans. Geprobeerd is de resultaten vermeld in de verschillende verslagen per kwartaal te groeperen. Tot en met het 10e verslag variëren de waarnemingsperioden evenals de lengten van de betrokken perioden sterk. Vanaf het 11e verslag (7 december 1956) is er pas enige regelmaat waar te nemen en was het mogelijk de resultaten te groeperen in kwartalen. Globaal gezien lopen deze van 6 december - 5 maart, 6 maart - 5 juni, 6 juni - 5 september, 6 september - 5 december. De gemiddelde dagelijkse verdamping voor de onderscheiden kwartalen (periode december 1956 - december 1970) bedragen 0.007 resp. 1.49, 2.60 en 0.88 mm. De gevonden resultaten van het 2e en het 3e kwartaal in 1965 zijn i.v.m. de sterk afwijkende lengte van de periode buiten beschouwing gelaten.
In Aanhangsel 4.3 zijn een aantal verdampingswaarden in tabelvorm ter onderlinge vergelijking samengebracht. Aangezien de lengten van de waarnemingsperioden tot en met het 10e verslag nogal sterk verschillen, zijn deze perioden niet opgenomen. Bovendien is met ingang van het 11e verslag een poging gedaan de verdamping uit het drainage-lysimeterveld en uit de gehele polder te berekenen aan de hand van een empirische verdampingsformule voor de potentiële evapotranspiratie die voor Wageningen werd gevonden. Voor de berekening werd deze formule aangepast voor de Rottegatspolder.
Voor meer informatie zij verwezen naar het 11e verslag, par. 7.
De resultaten van de verdampingsberekening volgens de methode van de waterbalans voor de polder en voor het drainage-Lysimeterveld zijn in figuur 4.2 grafisch uitgezet. Opgemerkt dient te worden dat de balansperioden gebruikt bij de berekening voor het drainage-lysimeterveld niet geheel overeenkomen met die, welke zijn gebruikt voor de polder.
Het verschil bedraagt enkele dagen. Met enige voorzichtigheid kan opgemerkt worden dat de verdamping voor de polder (bouwland en grasland) voor de periode maart...december iets groter is dan voor het drainage-lysimeterveld (bouwland).
Hetzelfde is gedaan met de resultaten van de verdampingsberekening volgens de methode van de waterbalans voor de polder en de resultaten verkregen met behulp van de bovengenoemde empirische verdampingsformule (figuur 4.3). Gemiddeld genomen komen

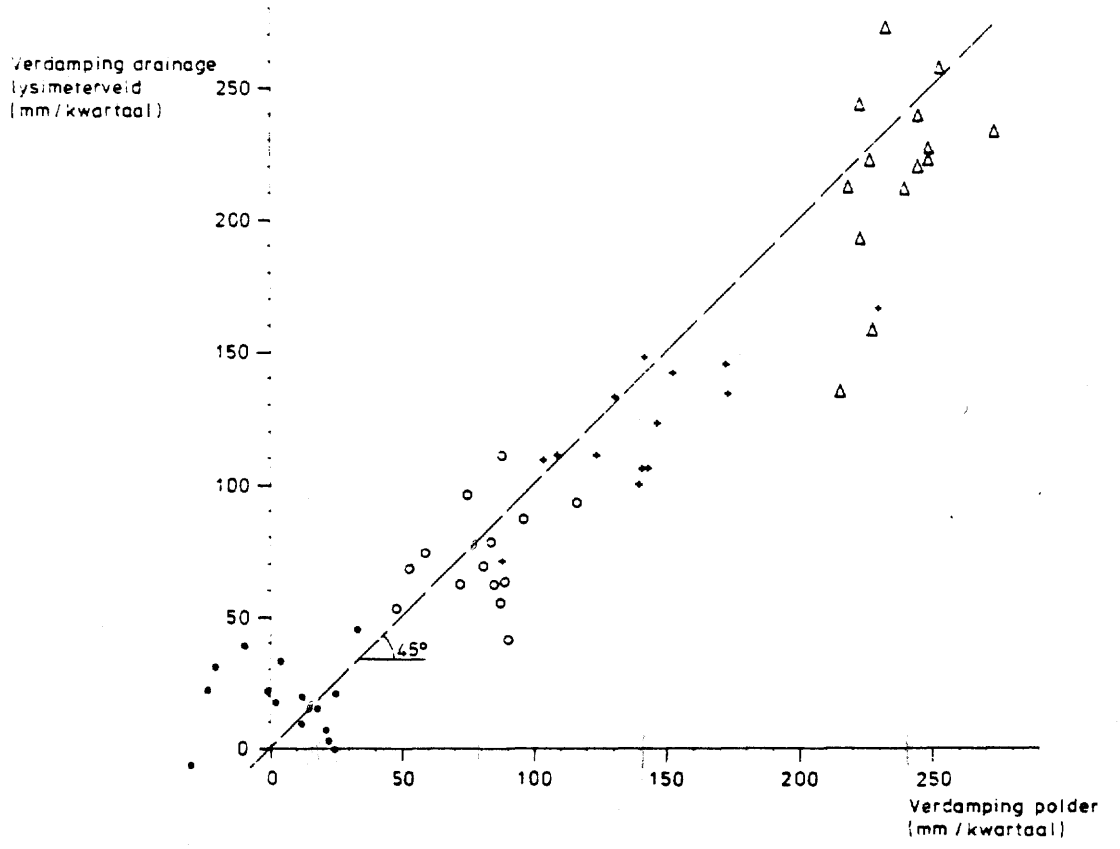


fig. 4.2 Relatie verdamping drainage-lysimeterveld en verdamping polder beide berekend m.b.v. de waterbalansmethode.

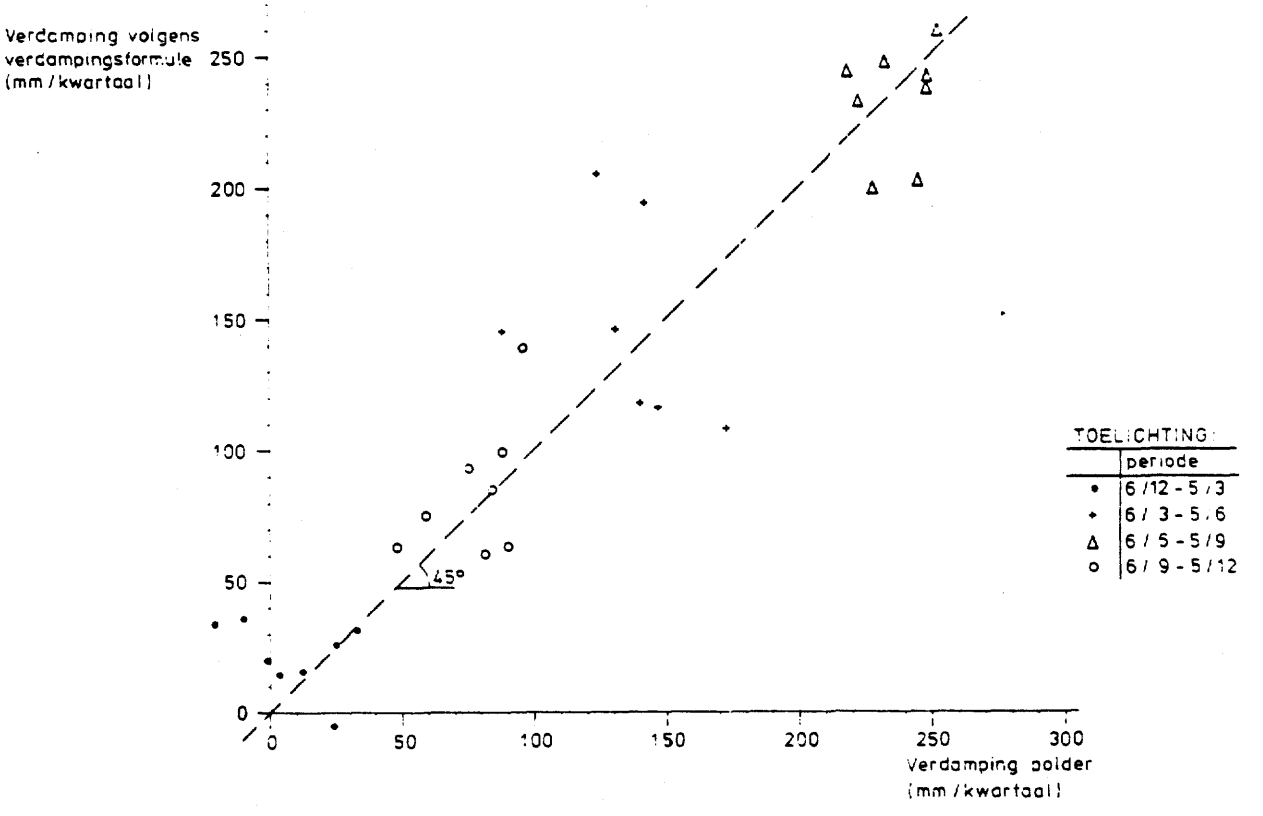


fig. 4.3 Relatie verdamping polder berekend volgens verdampingsformule en verdamping polder berekend m.b.v. waterbalansmethode.

deze resultaten redelijk met elkaar overeen, maar hun spreiding is, in het bijzonder voor de periode maart...juni zeer groot. De enkele negatieve verdampingswaarden die gevonden worden zijn het gevolg van het feit dat de verdamping als sluitpost van de waterbalans is berekend.

4.4 BESPREKING VAN DE RESULTATEN EN ENKELE CONCLUSIES.

Een nadere beschouwing van de resultaten uit dit deel van het onderzoek in de Rottegatspolder, nl. de bepaling van de grootte der verdamping volgens de methode van de waterbalans, leert dat:

a. de bepaling van het verschil in vochtvoorraad in de bodem ΔV_g de meeste problemen met zich meebrengt die worden veroorzaakt door de volgende factoren:
   * de heterogeniteit van de bodem;
   * de verschillen in verdamping van plek tot plek;
   * de wijze van bemonstering;
b. door de wijze van bemonstering (groot aantal monsters) vanaf het vierde verslagjaar moest worden overgegaan van balansperioden van één maand op driemaandelijkse balansperioden;
c. door het introduceren van nucleaire apparatuur bij de bepaling van het verschil in vochtvoorraad in de bodem overgegaan kon worden op maandelijkse balansperioden;
d. naast het verschil in bodemvochtvoorraad ook de neerslag P en lozing L grote standaardafwijkingen vertoonden, echter in de loop van het onderzoek zijn deze termen door verbeterde waarnemingen en waarnemingsmethoden aanzienlijk nauwkeuriger geworden;
e. af en toe waterinlating plaatsvond (De bepaling hiervan was vrij nauwkeurig en leverde een kleine standaardafwijking);
f. de kwel in de Rottegatspolder verwaarloosbaar was;
g. voor enkele balansperioden negatieve waarden voor de verdamping zijn gevonden (Deze negatieve waarden stemmen niet overeen met de werkelijkheid en zijn vrijwel allemaal veroorzaakt door sneeuwval die vaak niet in de regenmeters werd opgevangen en gemeten. De neerslag in de vorm van sneeuwval is in de laatste verslagperiode apart berekend. De negatieve waarden voor de verdamping gedurende het 16e verslagjaar werden toegeschreven aan de bepaling van de wijziging in het bodemvocht. Hiervoor zij verwezen naar het 16e verslag par. 4.3).

Geconcludeerd kan worden dat:

1. ondanks het gebruik van nucleaire apparatuur de bepaling van de verandering van het bodemvocht de zwakste schakel vormt in de waterbalans.
2. per jaar gerekend voor de gemiddelde verdamping per etmaal waarden bepaald zijn liggend tussen 1,12 en 1,41 mm.

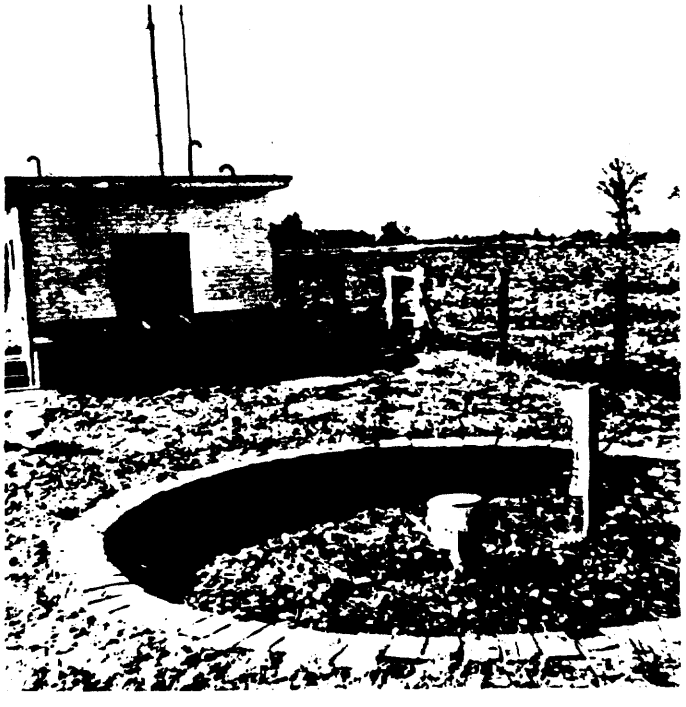
4.5 KRITISCHE KANTTEKENINGEN

Naar aanleiding van het voorafgaande kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

1. Zowel de wijzigingen in opstelling van de regenmeters als de steeds verschillende wijze van corrigeren (verschillende correctiefactoren) leveren een niet homogene reeks neerslagwaarnemingen.
2. De aangenomen waterequivalent van 25% voor sneeuw is bijzonder hoog, aannemelijker zou zijn hiervoor een waarde van ongeveer 10% aan te houden.
3. Ook de steeds wijzigende lengte van de balansperiode en de wijziging van de tijdstippen maakt het onderling vergelijken onmogelijk.
4. Voor de berekening van de hoeveelheid geloosd water is vanaf december 1956 een andere bewerkingsmethode toegepast aangezien de oude methode nogal onnauwkeurig was. Toch is voor de periode van voor december 1956 geen herberekening uitgevoerd. Ook is er niets vermeld over de grootte van de verschillen tussen beide bewerkingsmethoden.
5. Voor de berekening van de wijziging in het bodemvocht zijn vele veranderingen in de hiervoor benodigde bemonstering toegepast zodat de reeks verre van homogeen is. Bij de vergelijking van de neutronische metingen met de bodemvochtmetingen is vermeld dat ze verschillen in resultaten opleveren, er wordt echter niet vermeld in welke mate ze verschillen. De term bodemvocht kan overigens beter vervangen worden door de term bodemwater - zie de "Verklarende hydrologische woordenlijst", samengesteld door de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, en gepubliceerd door de CHO-TNO in de serie rapporten en nota's nr. 8a.
6. Bij de toeneming van het in de sloten geborgen water wordt niet aangegeven wat het effect was van het introduceren van een nieuwe kromme in verband met de profielwijzigingen.
7. Naar aanleiding van de in de berekening gebruikte oppervlakte van de polder wordt gesteld dat de werkelijke oppervlakte 83,1 ha is, en rekening is gehouden met een randgebied van 3,5 ha omdat deze invloed heeft op de waterhuishouding ervan. Men kan zich afvragen of deze 3,5 ha nu helemaal meegeteld dient te worden of slechts voor een deel aangezien de polder ook de omliggende gebieden beïnvloedt. Dit kan elkaar compenseren.
8. De berekening van de standaardafwijking voor I, L en ΔVs, zoals deze wordt besproken in het 2e

verslag op de bladzijden 20 en 23 is niet duidelijk en vermoedelijk onjuist. Of gesproken mag worden van een standaardafwijking van de oppervlakte is twijfelachtig, in ieder geval is haar toepassing op zowel I, als L en ΔVs niet juist.

9. In één van de rapporten wordt vermeld dat "de kwaliteit van de resultaten werd beoordeeld aan de hand van de standaardafwijking". In de standaardafwijking zitten echter ook de werkelijke variaties. De totale standaardafwijking wordt maar voor een deel bepaald door de kwaliteit van de waarnemingen.



Waarnemingshuisje - Rottegatspolder

Aanhangsel 4.1

Jaarsommen neerslag Rottegatspolder 1953-1971
(enkele maanden wegens sneeuw weggelaten).

	1	1a	2	3	4	5	6	7	1b
1953 (juni-dec)	462	450	457	457	439	469	452	443	
1954	910	855	837	831	850	868	831	832	
1955	773	729	687	705	676	712	711	722	
1956	827	783	731	747	736	760	752	749	
1957	836	789	765	787	776	781	793	784	
1958	795	766	746						765
1959 (zonder jan)	471	484	442	453	439	444	438	433	459
1960 (zonder jan en feb)	835	809	796	804	798	812	790	787	810
1961	912	871	878	879	859	859	866	861	882
1962	751	709	718	720	705	704	689	692	715
1963 (zonder jan + feb)	714	686	695	674	678	673	668	670	685
1964	649	610	594	602	601	604	596	592	614
1965	999	929	904	946	927	931	900	908	941
1966 (zonder jan en feb)	778	746	725	749	715	737	710	723	749
1967	913	863	847	852	830	859	833	851	879
1968 (zonder jan)	811	781	764	768	751	774	743	756	780
1969 (zonder feb en mrt)	687	653	646	647	648	665	625	630	655
1970 (zonder jan + feb en dec met jan 71)	715	675	664	673	662	692	657	662	679

De tabel met de cumulatieve verschillen P_1-P_{1a} enz. is van bovenstaande tabel afgeleid.

Cumulatieve verschillen in gemeten neerslag (mm) van de regenmeter in engelse opstelling, P_1, met de neerslag gemeten in de regenmeters in normale opstelling P_{1a}, P_{1b}, P_2, P_3, P_4, P_5 en P_6.

	P_1-P_{1a}	P_1-P_2	P_1-P_3	P_1-P_4	P_1-P_5	P_1-P_6	P_1-P_7	P_1-P_{1b}
1953	12	5	5	23	7	10	19	
1954	67	78	84	83	49	89	97	
1955	111	164	152	180	110	151	148	
1956	155	260	232	271	177	226	226	
1957	202	331	281	331	232	269	278	202(1[a])
1958	231	380	340	399	287	327	347	232
1959	218	409	358	431	314	360	385	244
1960	244	448	389	468	337	405	433	269
1961	285	482	422	521	390	451	484	299
1962	327	515	453	567	437	513	543	335
1963	355	534	493	603	478	559	587	364
1964	394	589	540	651	523	612	644	399
1965	464	684	593	723	591	711	735	457
1966	496	737	622	786	632	779	790	486
1967	546	803	683	869	686	859	852	520
1968	576	850	726	929	723	927	907	551
1969	610	891	766	968	745	989	964	583
1970	650	942	808	1021	768	1047	1017	619
periode								
53-59	218	409	358	431	314	360	385	
62-70	365	460	386	500	378	596	533	320

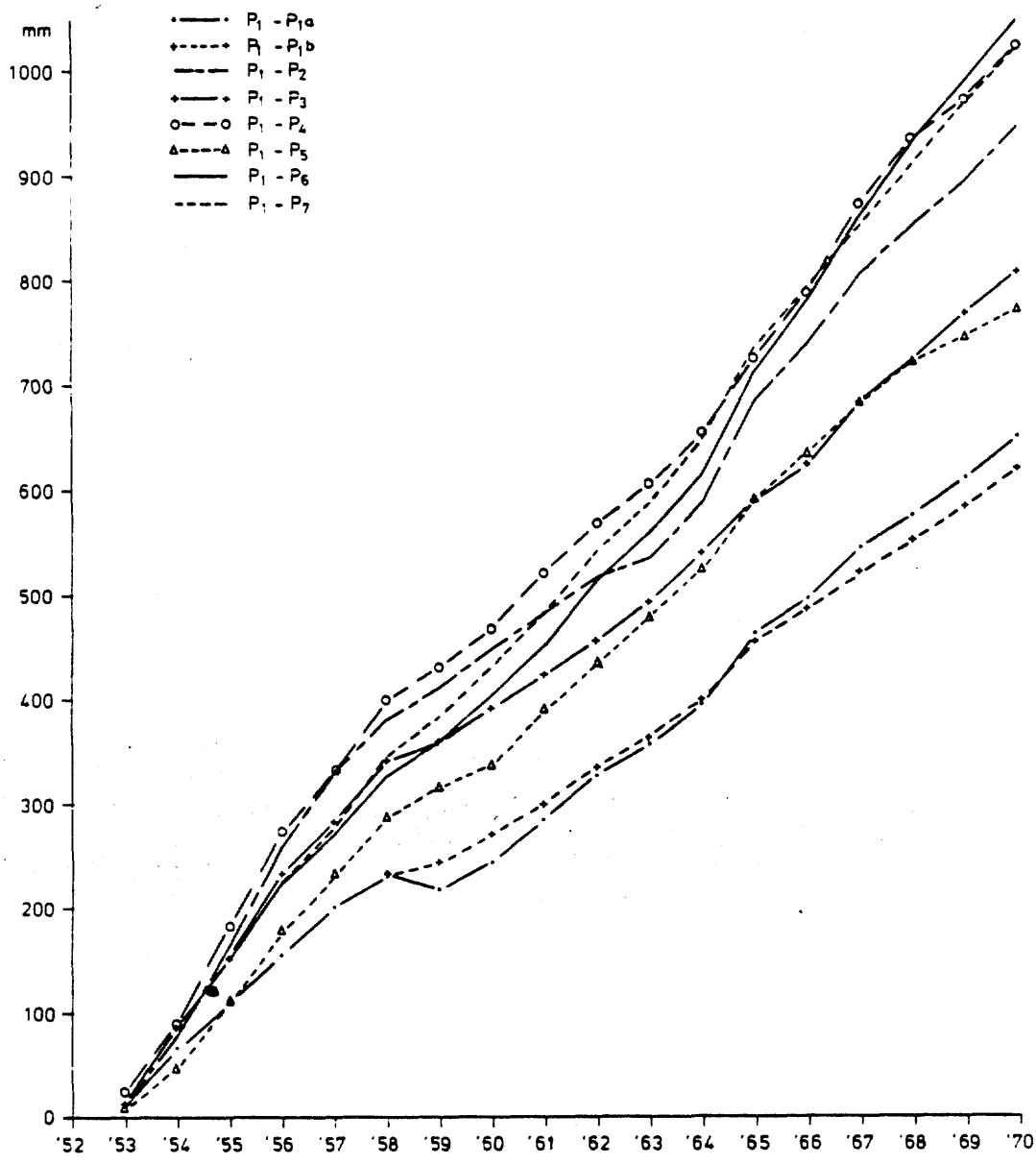
Zoals uit de grafiek (figuur 4.4) blijkt, hebben de regenmeters 1a en 1b, geplaatst bij het waarnemershuisje, duidelijk een afwijkend gedrag ten opzichte van de overige regenmeters in de polder. Vooral regenmeters 4, 6 en 7 vangen beduidend minder neerslag: ca. 400 mm in 18 jaren. Dit heeft tot gevolg dat de neerslagcijfers die voor het lysimeterveld gebruikt P_l zijn, systematisch lager zijn dan de neerslagcijfers voor de polder, P_p.

P_p	27-10-'53/03-12-'59	4635 mm
P_l	29-10-'53/01-12-'59	4602 mm
		33 mm

P_p	01-02-'62/11-01-'71	7187 mm
P_l	02-02-'62/12-01-'71	7013 mm
		174 mm

In eerstgenoemde periode waarin lysimeterveld akkerland was, is het verschil gemiddeld ongeveer 5 mm/jaar, in de tweede periode waarin lysimeterveld grasland was ongeveer 19 mm/jaar.
Gezien de geringe afmetingen van de polder moeten deze verschillen als irreëel beschouwd worden.
Wat zijn de verschillen van P_p en P_l met P_1 (= hoeveelheid neerslag gemeten met regenmeter in engelse opstelling)?
Voor periode 1953-1970 bedraagt $P_1-P_p \approx$ 15 mm/jaar en P_1-P_l $\approx$ 28 mm/jaar.

Gemaal - Rottegatspolder



Figuur 4.4 Cumulatieve verschillen van 1^a ... 7 met 1 (= engelse opstelling).

Aanhangsel 4.2

Overzicht van de beschouwde elementen van de waterbalans

Verslag nummer	periode	aantal dagen	P neerslag (mm)	I ingelaten water (mm)	L geloosd water (mm)	ΔV_g verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	ΔV_s verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	V verdamping (mm)	V_{gem} gemiddelde verdamping (mm/dag)
1	1/8/47 - 30/9	61	108	21	0	-3	-3	135	2,21
2	1/10 - 5/1/48	65*	107	0	70	46	-2	-8	* excl. 1/11/47 - 2/12/47
2	6/1 - 31/3	57**	74	0	72	-11	-3	15	** excl. 6/ 1/48 - 2/ 2/48
2	1/4 - 30/6	91	201	0	15	-40	1	227	2,49
2	1/7 - 4/10	96	261	0	12	19	3	228	2,38
3	5/10 - 9/1/49	97	115	0	44	41	-1	31	0,32
3	10/1 - 30/3	80	102	0	70	-25	1	56	0,70
3	31/3 - 29/6	91	171	0	22	-44	-1	193	2,12
3	30/6 - 3/10	96	156	15	1	-72	-2	206	2,15
4	4/10 - 2/1/50	91	301	4	146	82	7	69	0,76
4	3/1 - 18/5	136	267	0	151	-66	-1	183	1,35
4	19/5 - 3/7	46	97	0	2	-37	-3	136	2,96
4	4/7 - 1/10	90	347	2	89	39	3	216	2,40
5	2/10 -18/4/51	199	-	-	-	-	-	-	geen gegevens beschikbaar
5	19/4 - 9/7	82	139	0	21	-58	-2	178	2,17
5	10/7 - 3/10	86	139	16	0	-24	-2	181	2,10
6	4/10 -14/1/52	103	271	0	121	101	5	44	0,43
6	15/1 - 9/4	86	131	0	107	-1	-4	29	0,34
6	10/4 - 6/8	119	250	12	2	-70	2	328	2,76
6	7/8 - 3/11	89	222	0	35	66	-1	122	1,37
7	4/11 - 4/2/53	93	213	0	183	10	0	20	0,22
7	5/2 - 5/5	90	147	0	109	-33	-1	72	0,80
7	6/5 - 6/8	93	218	5	6	-39	-1	257	2,76
7	7/8 - 26/10	81	220	0	61	40	3	116	1,43
8	27/10 - 4/5/54	190	225	0	150	-24	-3	102	0,54

Verslag nummer	periode	aantal dagen	P neerslag (mm)	I ingelaten water (mm)	L geloosd water (mm)	ΔV_g verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	ΔV_s verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	V verdamping (mm)	V_{gem} gemiddelde verdamping (mm/dag)
8	5/5/54 - 4/89	92	264	4	22	22	+5	219	2,38
8	5/8 - 2/11	90	306	0	137	41	-3	131	1,46
9	3/11 - 2/5/55	181	346	0	301	-40	0	85	0,47
9	3/5 - 1/9	122	260	11	33	-82	-2	322	2,64
9	2/9 - 30/11	89	235	0	72	93	0	70	0,79
10	1/12 -29/5/56	181	329	0	249	-26	0	106	0,59
10	30/5 - 11/9	105	431	0	43	33	1	264	2,51
10	12/9 - 6/12	86	161	0	89	7	1	64	0,74
11	7/12 - 8/3/57	92	171	0	144	-2	-4	33	0,36
11	9/36 - 5/6	89	113	4	33	-56	0	140	1,57
11	6/6 - 4/9	91	288	0	11	23	1	253	2,78
11	5/9 - 5/12	92	248	0	151	10	-1	88	0,96
12	6/12 - 6/3/58	91	199	0	181	29	10	-21	-0,23
12	7/3 - 5/6	91	122	0	30	-46	-9	147	1,62
12	6/6 - 4/9	91	233	0	17	-6	-1	223	2,45
12	5/9 - 4/12	91	208	0	89	44	0	75	0,82
13	5/12 - 4/3/59	90	189	3	210	-6	-2	-10	-0,11
13	5/3 - 4/6	92	106	0	26	-92	-1	173	1,88
13	5/6 - 2/9	90	184	12	1	-53	-1	249	2,77
13	3/9 - 3/12	92	107	15	5	57	1	59	0,64
14	4/12 - 3/3/60	91	160	0	92	62	2	4	0,04
14	4/3 - 2/6	91	68	0	14	-75	-2	131	1,44
14	3/6 - 8/9	98	403	0	68	100	2	233	2,38
14	9/9 - 7/12	90	312	0	230	34	0	48	0,53
15	8/12 - 7/3/61	90	198	0	198	-10	-2	12	0,13

Verslag nummer	periode	aantal dagen	P neerslag (mm)	I ingelaten water (mm)	L geloosd water (mm)	ΔV_g verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	ΔV_s verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	V verdamping (mm)	V_{gem} gemiddelde verdamping (mm/dag)
15	8/3 - 6/6	91	142	0	32	-41	2	153	1,68
15	7/6 - 6/9	92	293	0	20	26	2	245	2,66
15	7/9 - 6/12	91	251	0	151	17	-1	84	0,92
15	7/12 - 9/3/62	93	184	0	188	-27	-2	25	2,27
15	10/3 - 7/6	90	167	0	52	26	1	88	0,98
15	8/6 - 5/9	90	208	0	0	-18	-2	228	2,53
15	6/9 - 6/12	92	158	0	34	27	1	96	1,04
16	7/12 - 7/3/63	91	96	0	52	22	23	-1	-0,01
16	8/3 - 7/6	92	170	0	112	-45	-21	124	1,35
16	8/6 - 4/9	89	312	0	43	49	1	219	2,46
16	5/9 - 4/12	91	195	0	105	3	-3	90	0,99
16	5/12 - 4/3/64	91	80	0	74	-18	0	24	0,26
16	5/3 - 3/6	91	168	0	46	-21	1	142	1,56
16	4/6 - 3/9	92	158	9	0	-77	-5	249	2,71
16	4/9 - 2/12	90	190	0	9	98	2	81	0,90
16/17	3/12 - 4/3/65	92	193	0	176	-5	1	21	0,23
17	5/3 - 6/7	124	399	0	172	-7	4	230	1,85
17	7/7 - 7/9	63	202	0	41	-53	-2	216	3,43
17	8/9 - 8/12	92	154	0	72	8	2	72	0,78
17	9/12 - 2/3/66	84	225	0	261	-1	-4	-31	-0,37
17	3/3 - 7/6	97	170	0	70	-43	0	143	1,47
17	8/6 - 7/9	92	259	0	0	16	-2	245	2,66
17	8/9 - 7/12	91	231	0	98	41	3	89	0,98
17/18	8/12 - 6/3/67	89	329	0	215	-2	-3	18	0,20
18	7/3 - 5/6	91	209	0	59	-31	7	174	1,91

Verslag nummer	periode	aantal dagen	P neerslag (mm)	I ingelaten water (mm)	L geloosd water (mm)	ΔV_g verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	ΔV_s verandering hoeveelheid bodemwater (mm)	V verdamping (mm)	V_{gem} gemiddelde verdamping (mm/dag)
18	6/6 - 5/9	92	179	0	0	-38	-6	224	2,43
18	6/9 - 6/12	92	275	0	128	60	0	87	0,95
18	7/12 - 4/3/68	89	164	0	184	5	-1	-24	-0,27
18	5/3 - 4/6	92	165	0	36	-17	3	142	1,54
18	5/6 - 2/9	90	245	0	17	-11	-1	240	2,67
18	3/9 - 9/12	98	337	0	236	51	-3	53	0,54
18/19	10/12 - 4/3/69	85	119	0	98	-14	13	22	0,26
19	5/3 - 2/6	90	178	0	65	10	-7	109	1,21
19	3/6 - 1/9	91	280	9	60	2	0	227	2,49
19	2/9 - 1/12	91	180	0	72	7	-2	116	1,27
19	2/12 - 2/3/70	91	164	0	149	13	1	2	0,02
19	3/3 - 1/6	91	164	0	93	-34	1	104	1,14
19	2/6 - 8/9	99	206	11	6	-60	-2	274	2,77
19	9/9 - 8/12	91	297	0	127	84	1	85	0,93
19	9/12 - 1/2/71	65	84	0	77	-4	-1	12	0,18

Aanhangsel 4.3

Samenvatting van de voor de Rottegatspolder c.a. berekende verdamping in mm.

Verslag nummer	periode	Rottegatspolder				Wageningen	IJsselmeer
		waterbalans		verticaal damptransport KNMI-veld	berekende verdamping	lysimeters (gras)	open bak (drijvend)
		polder	drainage-lysimeterveld				
11	7/12/56- 8/3/57	33	45	-*	32	12	-
11	9/3 - 5/6	140	100	70	118	194	-
11	6/6 - 4/9	253	257	212	259	221	358
11	5/9 - 5/12	88	111	67	99	-	-
12	6/12 - 6/3/58	-21	31	-	34	-	-
12	7/3 - 5/6	147	123	-	116	150	-
12	6/6 - 4/9	223	243	232	232	218	311
12	5/9 - 4/12	75	96	73	93	74	108
13	5/12 - 4/3/59	-10	39	-	36	36	-
13	5/3 - 4/6	173	145	-	108	183	-
13	5/6 - 2/9	249	226	249	238	263	394
13	3/9 - 3/12	59	74	76	75	63	-
14	4/12 - 3/3/60	4	33	-	15	25	-
14	4/3 - 2/6	131	133	-	146	180	217
14	3/6 - 8/9	233	272	228	247	221	360
14	9/9 - 7/12	48	53	69	63	154	99
15	8/12 - 7/3/61	12	10	-	16	22	-
15	8/3 - 6/6	153	142	-	153	168	193
15	7/6 - 6/9	245	220	185	202	198	320
15	7/9 - 6/12	84	78	-	85	-	107
15	7/12 - 9/3/62	25	21	-	26	21	-
15	10/3 - 7/6	88	71	-	145	140	-
15	8/6 - 5/9	228	158	160	199	220	325
15	6/9 - 6/12	96	87	-	139	54	-
16	7/12 - 7/3/63	-1	22	-	20		-

* geen gegevens beschikbaar

Verslag nummer	periode	Rottegatspolder				Wageningen	IJsselmeer
		waterbalans		verticaal damp-transport KNMI-veld	berekende verdamping	lysimeters (gras)	open bak (drijvend)
		polder	drainage-lysimeterveld				
16	8/3 - 7/6	124	111	-	205		-
16	8/6 - 4/9	219	212	-	244		329
16	5/9 - 4/12	90	41	64	63		-
16	5/12 - 4/3/64	24	0	-	-5		-
16	5/3 - 3/6	142	106	-	194		-
16	4/6 - 3/9	249	223	-	241		374
16	4/9 - 2/12	81	69	56	60		116
16/17	3/12 - 4/3/65	21	7	-	-		-
17	5/3 - 6/7	230	166	-			322
17	7/7 - 7/9	216	135	95			217
17	8/9 - 8/12	72	62				81
17	9/12 - 2/3/66	-31	-6				-
17	3/3 - 7/6	143	106				223
17	8/6 - 7/9	245	239				336
17	8/9 - 7/12	89	63				99
17/18	8/12 - 6/3/67	18	15				-
18	7/3 - 5/6	174	134				229
18	6/6 - 5/9	224	192				340
18	6/9 - 6/12	87	55				97
18	7/12 - 4/3/68	-24	22				-
18	5/3 - 4/6	142	148				-
18	5/6 - 2/9	240	211				301
18	3/9 - 9/12	53	68				108
18/19	10/12 - 4/3/69	22	3				-
19	5/3 - 2/6	109	111				-
19	3/6 - 1/9	227	222				345
19	2/9 - 1/12	116	93				129
19	2/12 - 2/3/70	2	18				-
19	3/3 - 1/6	104	109				179
19	2/6 - 8/9	274	233				396
19	9/9 - 8/12	85	62				97
19	9/12 - 1/2/71	12	20				-

HOOFDSTUK 5: BEPALING VAN DE GROOTTE VAN DE VERDAMPING EN VAN ANDERE POSTEN VAN DE WATERBALANS VAN DE GRONDEN IN DE ROTTEGATSPOLDER DOOR HET STATISTISCH EN GRAFISCH ONDERZOEK VAN GRONDWATERSTANDS- EN VOCHTGEHALTEGEGEVENS

5.1 INLEIDING

Het gebruik van de waterbalans voor het vaststellen van de werkelijke verdamping heeft als nadeel dat de verdampingsterm als sluitpost wordt berekend. Fouten en onnauwkeurigheden bij de bepaling van de andere posten werken daarom door in de gevonden verdamping.

Andere methoden om de verdamping te leren kennen, die dit bezwaar in principe niet hebben, gaan uit van de waterbalans en de onderlinge relaties die bestaan tussen de verschillende posten van de waterbalans. Ten behoeve van het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder zijn twee methoden onderscheiden, namelijk:

1) de werkelijke verdamping van een gewas is min of meer evenredig met het verdampend vermogen van de atmosfeer, terwijl de vochtverandering in de grond min of meer evenredig is met de grondwaterstandsverandering;
2) de werkelijke verdamping van een gewas wordt bepaald door het verdampend vermogen van de atmosfeer en het vochtgehalte in de wortelzone.

In het vervolg zal de eerste methode worden aangeduid als de statistische methode en de tweede methode als de grafische methode.

5.2 DE STATISTISCHE METHODE

Het principe van deze methode berust op het feit dat de totale hoeveelheid neerslag wordt verdeeld over de andere posten van de waterbalans (verdamping, afvoer en vochtvoorraadverandering) in afhankelijkheid van de verhouding tussen de drukhoogte (= grondwaterstand boven ontwateringsbasis), de grondwaterstandsverandering en potentiële verdamping. Daar komt nog bij dat de vochtverandering en de drukhoogte beide zijn afgeleid uit de grondwaterstandsgegevens zodat dus alleen de grondwaterstand gemeten hoeft te worden.
De nauwkeurigheid van de methode hangt af van de betrouwbaarheid waarmee de samenhang van de ver-

schillende grootheden met de neerslagintensiteit bekend is. Deze kan op grafische wijze bepaald worden uit veldwaarnemingen van neerslag, gemeten of berekende bakverdamping en grondwaterstanden. Ook de neerslagverdeling wordt meegenomen daar de afstroming als functie van de drukhoogte h ook hierdoor sterk beïnvloed wordt (verslag 13, pag - 70).
Er worden dus vijf variabelen onderscheiden, namelijk neerslag, neerslagverdeling, gemeten of berekende verdamping, drukhoogte en grondwaterstandsverandering.
Om het aantal bewerkingen te beperken, wordt elke variabele in een aantal klassen met opklimmende gemiddelde waarden opgedeeld. Het aantal klassen hangt af van het waarnemingsmateriaal en is een compromis tussen enerzijds het terugbrengen van het aantal bewerkingen en anderzijds het handhaven van voldoende onderscheid. Vervolgens kan voor 3 van de 5 variabelen een bepaalde klassewaarde gekozen worden. Nu kunnen uit al het waarnemingsmateriaal die perioden worden geselecteerd waarvan de desbetreffende 3 variabelen in de gekozen klassen vallen. De twee overgebleven variabelen van het aldus uitgeselecteerde materiaal kunnen tegen elkaar worden uitgezet. Fig. 5.1 geeft voorbeelden van de aldus gevonden verbanden.
Het gedeelte van de neerslag dat afgevoerd wordt naar de sloten bij een drukhoogte h = 26 cm (fig. 5.1b) is bepaald door het verschil in neerslagintensiteit bij h = 26 cm en de aflezing bij h = 0 (31,5 - 13,5 = 18 mm). Bij gelijkblijvende grondwaterstand (grondwaterstandsverandering = 0) zal de neerslag alleen verdeeld worden over de afvoer Q en de werkelijke verdamping.

5.2.1 Resultaten

De volgens bovenstaande methode bepaalde grootheden zijn te vergelijken met de overeenkomstige eenheden uit de polderbalans. Deze analyse is volledig uitgevoerd voor de waarnemingsperiode 1952 tot en met 1960.

- Fig. 5.2 laat zien dat de berekende afstroming een grote overeenkomst vertoont met de door het poldergemaal afgevoerde hoeveelheid water, vooral als men in aanmerking neemt dat voor de bemaling ook andere kriteria gelden dan de op dat moment aangevoerde hoeveelheid water.
- Bij vergelijking van de berekende vochtvoorraad en de voor de polderbalans gemeten vochtvoorraad blijken wel verschillen op te treden. Er blijken

wisselingen in de vochtvoorraad voor te komen die van belang zijn, maar die niet bij de driemaandelijkse bemonstering voor de polder worden waargenomen.

- De berekende werkelijke verdamping E, blijft tijdens neerslagdepressies en tijdens de ontwikkelingsfase van het gewas sterk achter bij de open water verdamping, berekend volgens Penman, E_o. Uit deze E en de berekende E_o kan de gemiddelde gewasfactor f worden afgeleid over de periode 1952 t/m 1959. Deze gewasfactor varieert tussen 1,07 en 0,56 (fig. 5.3).
- Bij deze methode lijkt een systematische fout te ontstaan door onderschatting van de vochtvoorraad. Vooral bij grondwaterstanden dieper dan 105 cm bestaat er geen goede relatie meer tussen de grondwaterstand en de vochtinhoud van het profiel (verslag 14, pag. 80 e.v.). Vooral om deze reden is overgegaan op de grafische methode omdat daarbij het eenduidig verband tussen vochtvoorraad en grondwaterstand niet meer nodig is. Mede door het ter beschikking komen van een meetmethode om met behulp van een neutronensonde op snellere wijze de vochtvoorraadverandering te kunnen meten werd deze methode ook praktisch toepasbaar.

5.3 DE GRAFISCHE METHODE

Op bodemfysische en plantenfysiologische gronden komt VISSER (1963a, 1963b) tot de opvatting dat 'de verdamping van een gewas E wordt beheerst door het verdampend vermogen van de atmosfeer E_o en het vochtgehalte in de wortelzone V_o. Deze relatie moet dus te beschrijven zijn met behulp van bodem- en gewasfactoren. Wanneer deze factoren bekend zijn, kan dus enkel uit bodemvochtmetingen en atmosferische omstandigheden de werkelijke verdamping worden bepaald.

5.3.1 Theorie

Deze relatie is volgens VISSER (1963) te beschrijven als:

$$(fE_o - E)(AV_o^m - E_o) = B$$

waarin: f = gewasfactor
A = factor voor de wortelontwikkeling en de beschikbaarheid van vocht in de wortelzone

m = factor die bepaald wordt door de vorm van de vochtspanningscurve
B = factor voor transportcapaciteit van vocht door de plant, de wortelontwikkeling en eigenschappen van de bodem.

De plant - bodem factor is zeer klein, waardoor bij benadering gesteld kan worden dat E afwisselend bepaald wordt door fE_o of door AV_o^m en wel door de kleinste van deze twee. Dus $E = fE_o$ of $E = AV_o^m$ (fig. 5.4); B wordt dus verwaarloosd.
De bepaling van de factoren f, A en m uit karakteristieken van de plant, grond en weersomstandigheden is ingewikkeld. De afleiding met behulp van deze formule uit een grafische bewerking van de in het veld verzamelde gegevens over de werkelijke verdamping (afgeleid uit de waterbalans), het verdampend vermogen van de atmosfeer en de vochttoestand van de bodem, heeft daarom de voorkeur.

5.3.2 Grafische bewerking

Wanneer de factoren f, A en m constant zijn over de waarnemingsperiode, dan zijn de curven in fig. 5.1 gelijkvormig en naarmate B kleiner verondersteld wordt, liggen ze dichter bij hun asymptoten. Deze twee vereenvoudigingen maken het mogelijk op een gemakkelijke manier de constanten die de curven beschrijven, te bepalen.
Door de waarnemingen te corrigeren naar een gemiddelde waarde voor E_o of V_o^m (fig. 5.5) komen de horizontale asymptoten samen te vallen. Dit is geoorloofd wanneer de desbetreffende variabele weinig verandert over de waarnemingsperiode. De hiervoor benodigde waarden van f, A en m zijn dan nog onbekend en moeten worden geschat.
Het logaritmisch uitzetten van E, E_o en V_o^m tegen elkaar geeft een volgende vereenvoudiging voor de grafische bepaling van f, m en A volgens de relaties:

$$\log E = \log E_o + \log f$$
$$\log E = m\log V_o + \log A$$

Door de veldwaarnemingen op de eerder genoemde manier te corrigeren naar E_o, AV_o^m, $\log E_o$ of $m\log V_o$, en vervolgens metrisch en logaritmisch uit te zetten, verkrijgt men een viertal diagrammen waaruit f, A en m te bepalen zijn uit:
- de richtingscoëfficiënt van de schuine asymptoot;

- snijpunten van de asymptoten met het assenstelsel.

Fig. 5.6 geeft dit nog eens grafisch weer.

5.3.3 Resultaten

Deze grafische bewerking is toegepast op de waarnemingen van de Rottegatspolder van 1952 t/m 1960. In de totale hoeveelheid waarnemingen zit echter een grote variatie in tijd, gewassoort en gewasontwikkeling.
Daar A, f en m constant moeten zijn over de waarnemingsperiode, werd deze grafische bewerking met een viertal verschillende groepen van waarnemingen uitgevoerd.

1) 'f en A als jaargemiddelde voor het drainage-lysimeterveld'

   Ondanks verschillen in gewas over de jaren en verschillen in gewasontwikkeling over de maanden is uit de puntenzwerm in fig. 5.7 een gemiddelde waarde voor g over een jaar te bepalen. Voor de constante A (fig. 5.8) is dat al moeilijker door de weinige waarnemingen bij lage vochtgehalten. Spreiding van de punten geeft al aan dat een onderverdeling in gewas en de tijd wenselijk is.

2) 'f en A als jaargemiddelde van grasland'

   De waarnemingen over 1953 van het graslandperceel bij grondwaterstandsbuis no. 3 zijn hiervoor gebruikt. Het gewas bleef gelijk over dat jaar en de f werd constant verondersteld over de waarnemingsperiode april t/m oktober. Uit de berekeningen volgt dat f = 1,03 en A = 365 x 10^{-7} (fig. 5.9a en b). Bij een E_o van 3 mm/etmaal zal het vochtgehalte als beperkende factor voor de verdamping optreden als deze lager komt dan V_o = 44,5 vol.%.

3) 'f en A per maand voor het drainage-lysimeterveld'

   Daar over het groeiseizoen het gewas zich ontwikkelt zullen de factoren f en A over die periode ook sterk variëren. Bij de berekening van deze twee factoren is daarom ook onderscheid tussen de maanden gemaakt (zie 2e kolom van tabel 5.1). Onderscheid in gewassoort is niet ge-

maakt. Ook de gewaslengte en neerslagverdeling zijn van invloed. Een beperkende invloed van V_o op de verdamping is niet zichtbaar.

4) 'f per maand voor de gehele Rottegatspolder'

Ook hier is geen onderscheid gemaakt naar gewas. De f-waarden staan in de 1e kolom van tabel 5.1. De beperkende invloed van een laag vochtgehalte op de verdamping is niet waargenomen. Er is weinig verschil tussen de uitkomsten voor de polder en voor het drainage-lysimeterveld.

Tabel 5.1. Maandwaarden voor de constante f voor de drainage-lysimeter en de gehele Rottegatspolder

Maand	Polder	Drainage-lysimeterveld
April	0,599	0,527
Mei	0,607	0,606
Juni	0,657	0,727
Juli	0,815	0,874
Augustus	0,921	0,738
September	0,794	0,808
Oktober	0,989	0,912

Over de jaren 1961 t/m 1964 zijn met behulp van deze f-waarden uit tabel 5.1 de verdampingscijfers bepaald en vergeleken met die uit de waterbalans van het drainage-lysimeterveld en die van de gehele polder.
Er blijkt een grote overeenkomst tussen de resultaten van beide methoden.
De figuren 5.10 en 5.11 geven de regressielijnen weer van de verdamping volgens de waterbalans ten opzichte van de verdamping volgens de grafische methode ($f.E_o$) (fig. 5.10a en 5.11a) en omgekeerd van de verdamping uit $f.E_o$ ten opzichte van de verdamping uit de waterbalans (fig. 5.10b en 5.11b).

De noodzaak om onderscheid te maken naar gewas en gewasontwikkeling blijkt nogmaals uit de fig. 5.12 en 5.13 waarin de waarnemingen voor de gehele Rottegatspolder uitgezet zijn zonder een indeling naar maand of gewas te maken. De puntenzwermen zijn weinig bruikbaar voor de bepaling van een gemiddelde factor f of A.

Een voorwaarde voor deze grafische methode is dat er nauwkeurig en frekwent gemeten wordt, vooral de vochtinhoud van het profiel. De aanbeveling is voor grasland 1 maal per week en voor bouwland, afhankelijk van de droogte, een paar maal per week.

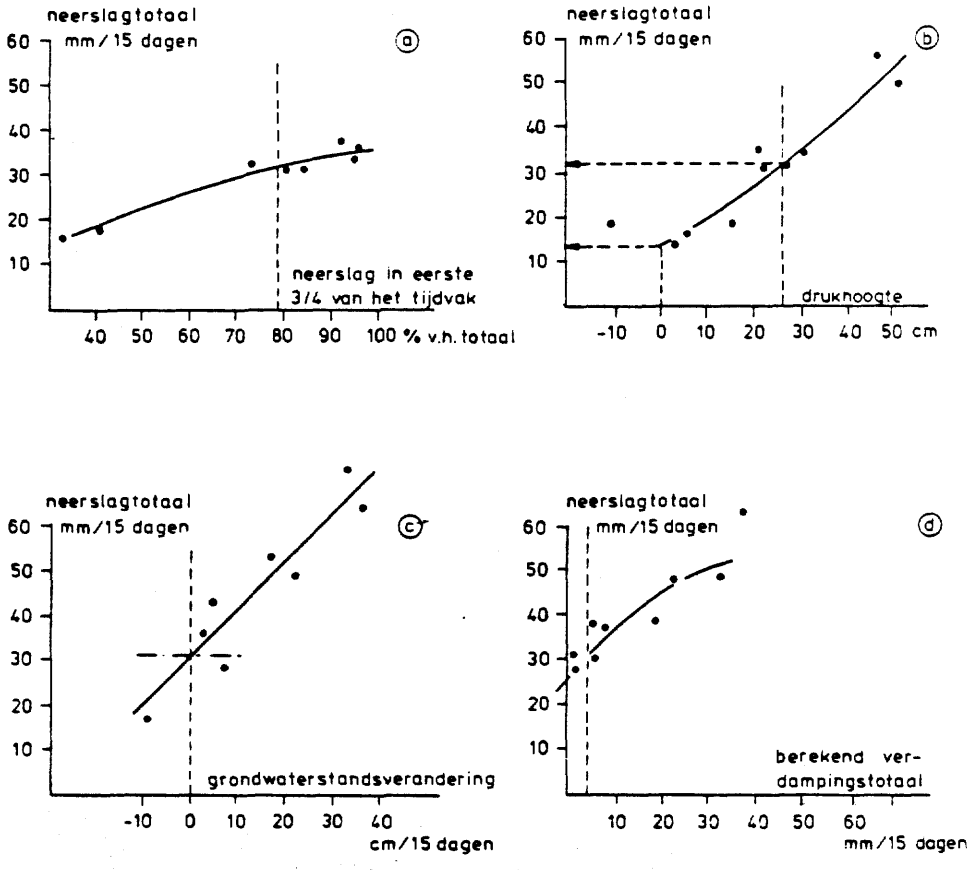


Fig. 5.1. Voorbeelden van de aard van de samenhang tussen twee variabelen waarbij de andere drie variabelen een constante waarde hebben. Deze waarden zijn:

	neerslag-totaal in eerste 3/4 van het tijd-vak (%)	druk-hoog-te (cm)	grondw. stands-verand. (cm)	bere-kende ver-dam-ping
voor fig. 5.1[a]		26	0	4 mm/15 d
voor fig. 5.1[b]	79		0	4 15
voor fig. 5.1[c]	79	26		4 15
voor fig. 5.1[d]	79	26	0	

Tevens in de figuren met een stippellijn aangegeven de waarde van de variabele in de andere drie voorbeelden. Hierbij behoort eveneens een constante waarde voor het neerslagtotaal van 31,5 mm/15 dagen.

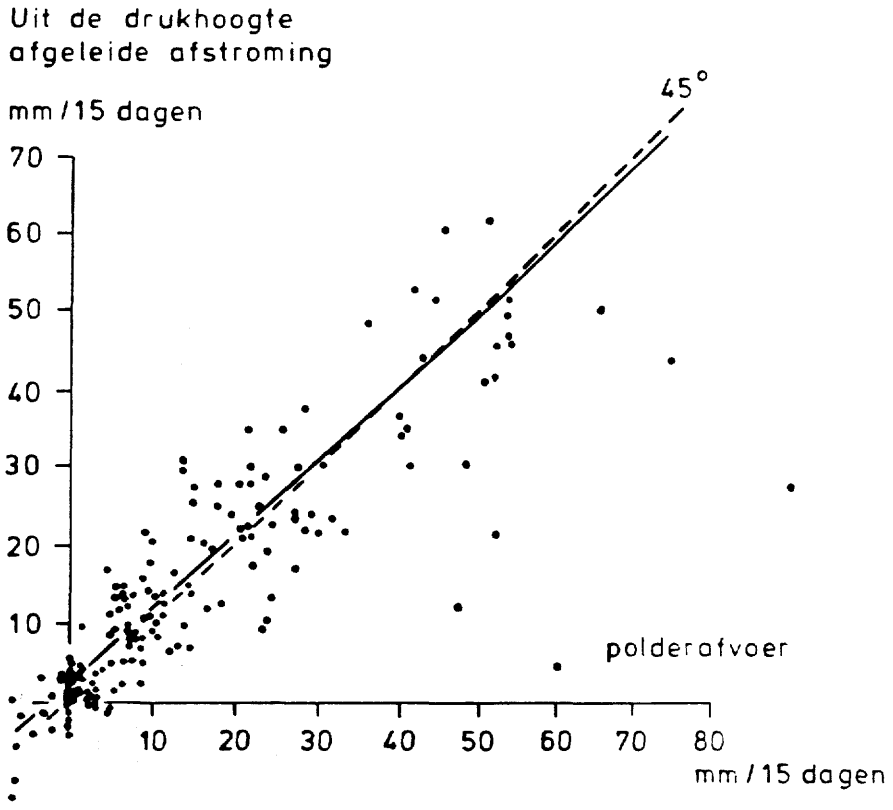


Fig. 5.2. Overeenkomst tussen polderafvoer en de uit de drukhoogte afgeleide afstroming in de perioden tussen twee grondwater standsmetingen over de jaren 1952 t/m 1960.

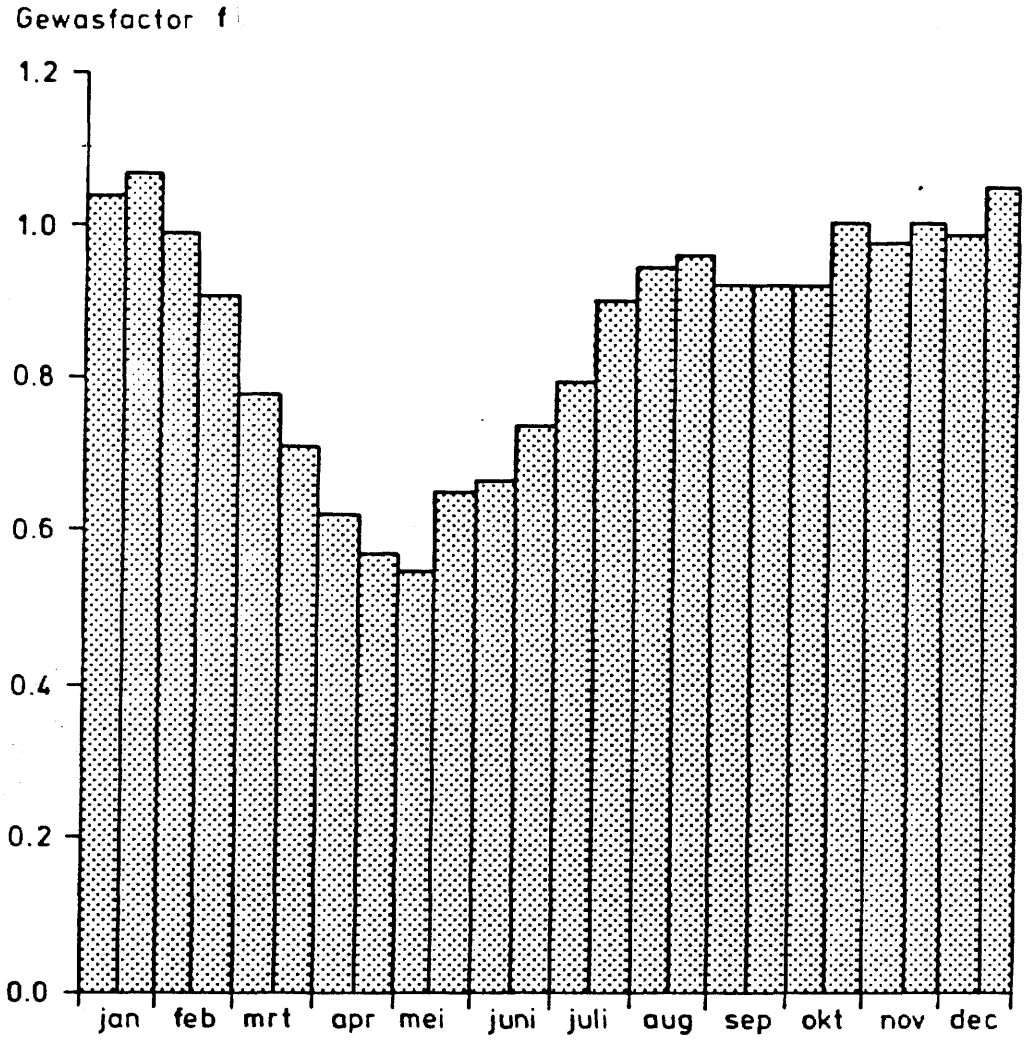


Fig. 5.3. Het gemiddeld verloop van de gewasfactor f (E/E_o) voor de gronden in de Rottegatspolder over de jaren 1952 t/m 1959.

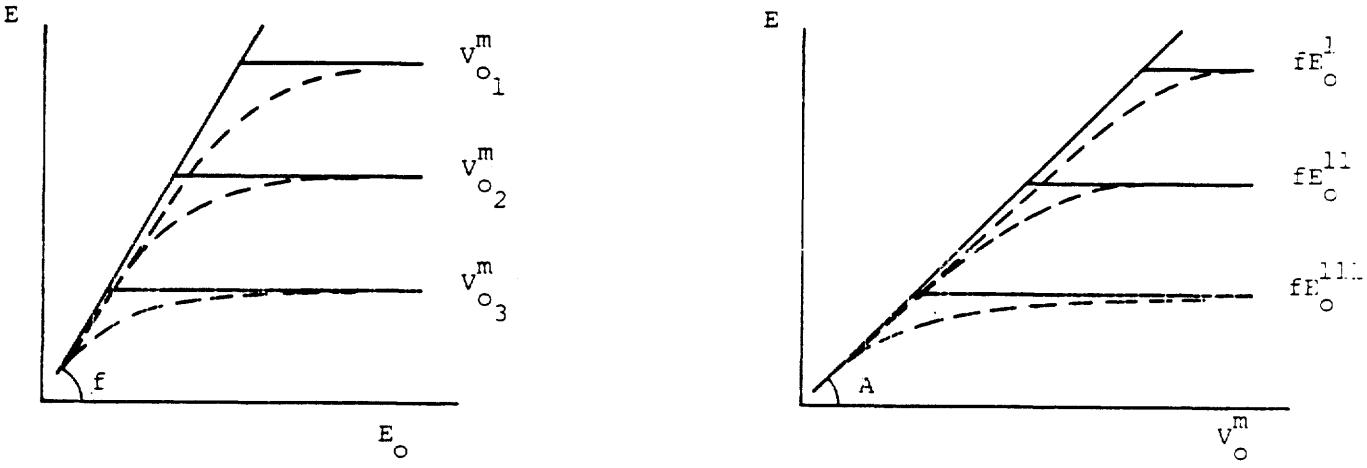


Fig. 5.4. Schematische voorstelling van de samenhang van de werkelijke verdamping (E) met atmosferische verdamping (E_o) en vochttoestand van de grond (V_o) door een stelsel van een hellende en een aantal horizontale asymptoten.

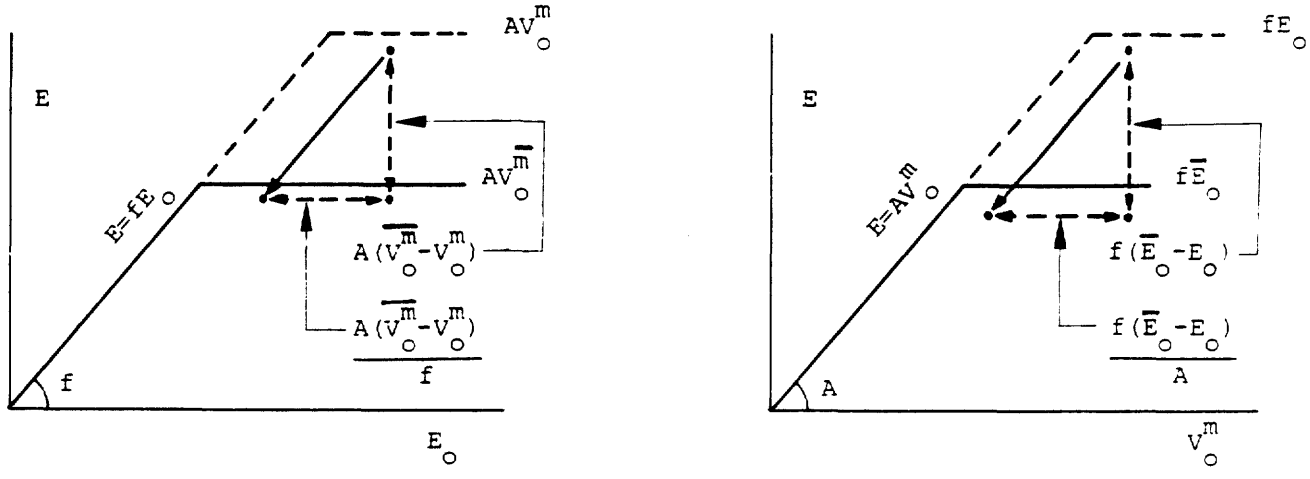


Fig. 5.5. De correcties van E en E_o of van E en V_o^m voor het uitschakelen van de invloed van ongelijke waarden van V_o^m resp. E_o.

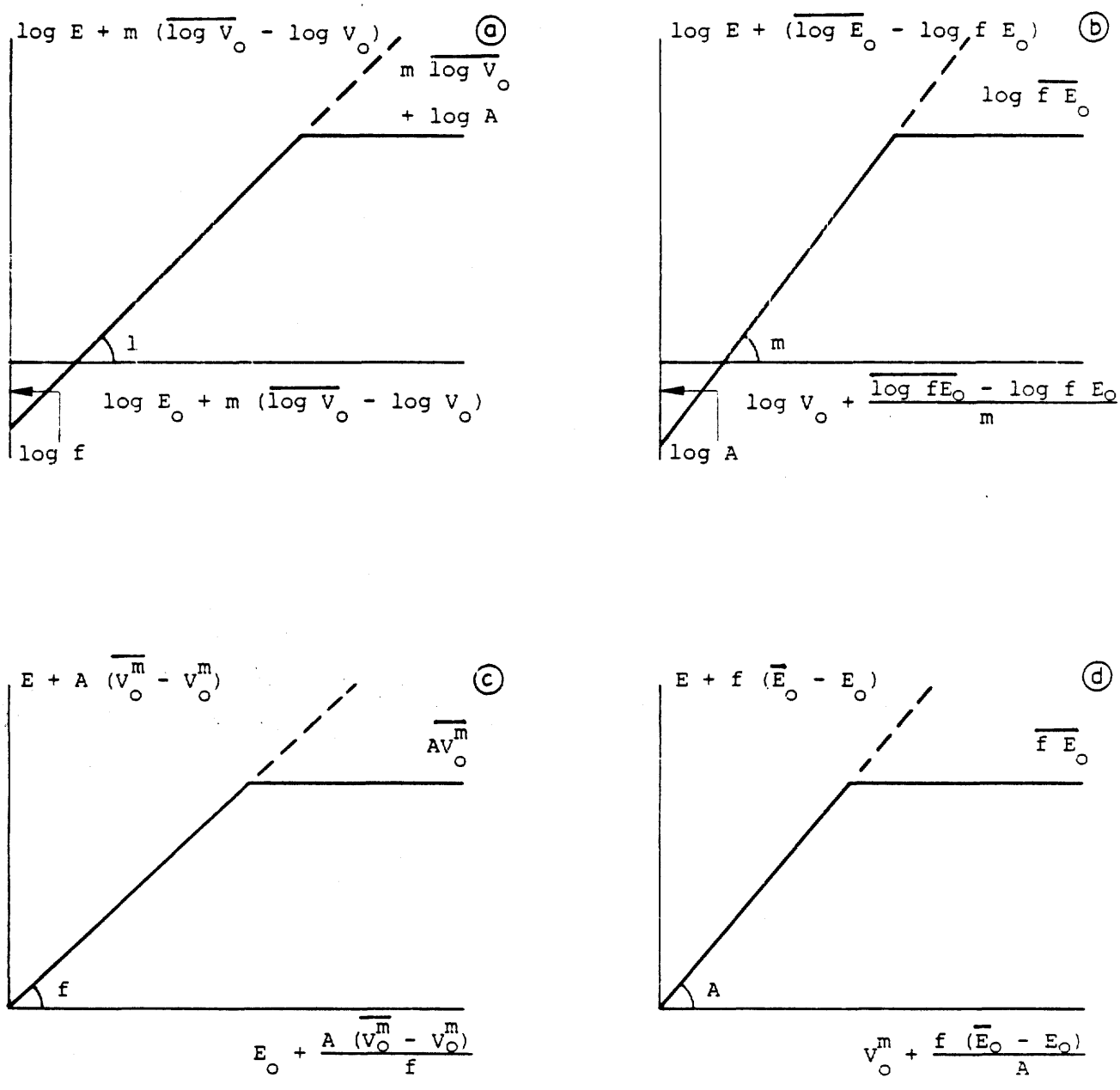


Fig. 5.6. Grafische bewerking van de in het veld verzamelde gegevens ter bepaling van f, A en m (zie tekst).

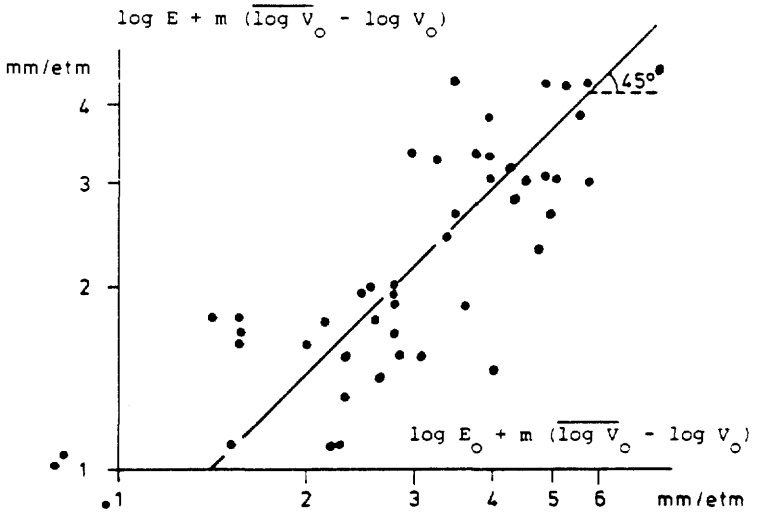


Fig. 5.7. De verhouding tussen E_o en E, uitgedrukt in de samenhang tussen de logarithmen van beide grootheden, met uitschakeling van de invloed van ongelijke vochttoestand. De figuur geldt voor het drainage-lysimeterveld.

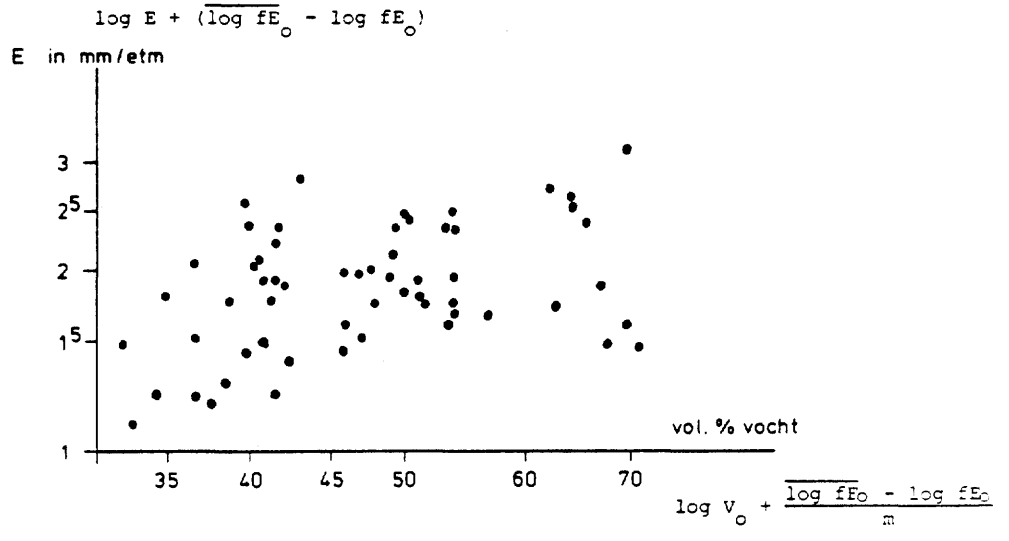


Fig. 5.8. De logarithme van de werkelijke verdamping ingezet tegen de logarithme van het vochtgehalte tot de derde macht, met uitschakeling van de invloed van ongelijke atmosferische verdamping en van ongelijke waarden van f. De figuur geldt voor het drainage-lysimeterveld.

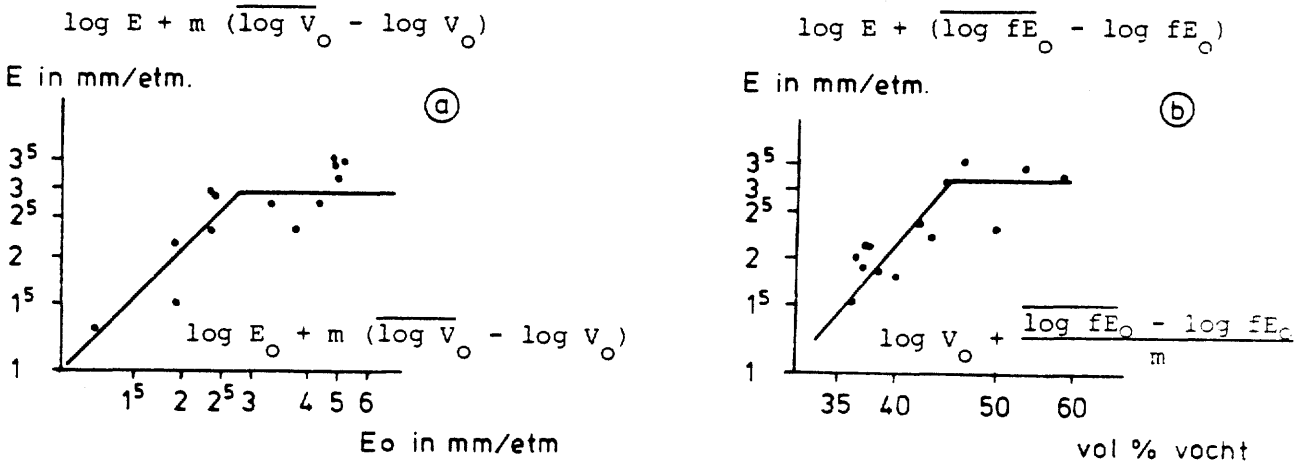


Fig. 5.9. Bepaling van f (fig. 5.9a) en A (fig. 5.9b) voor een graslandperceel in de Rottegatspolder.

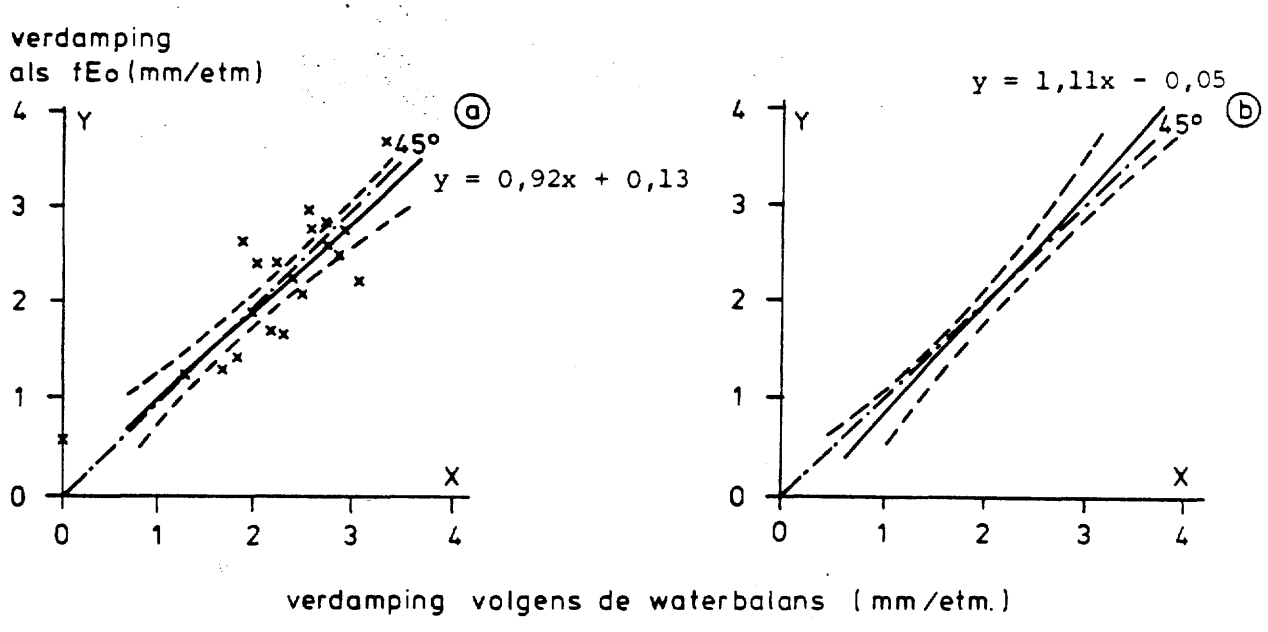


Fig. 5.10. Overeenkomst tussen de verdamping berekend als fE_o en die volgens de waterbalans van de gehele Rottegatspolder.

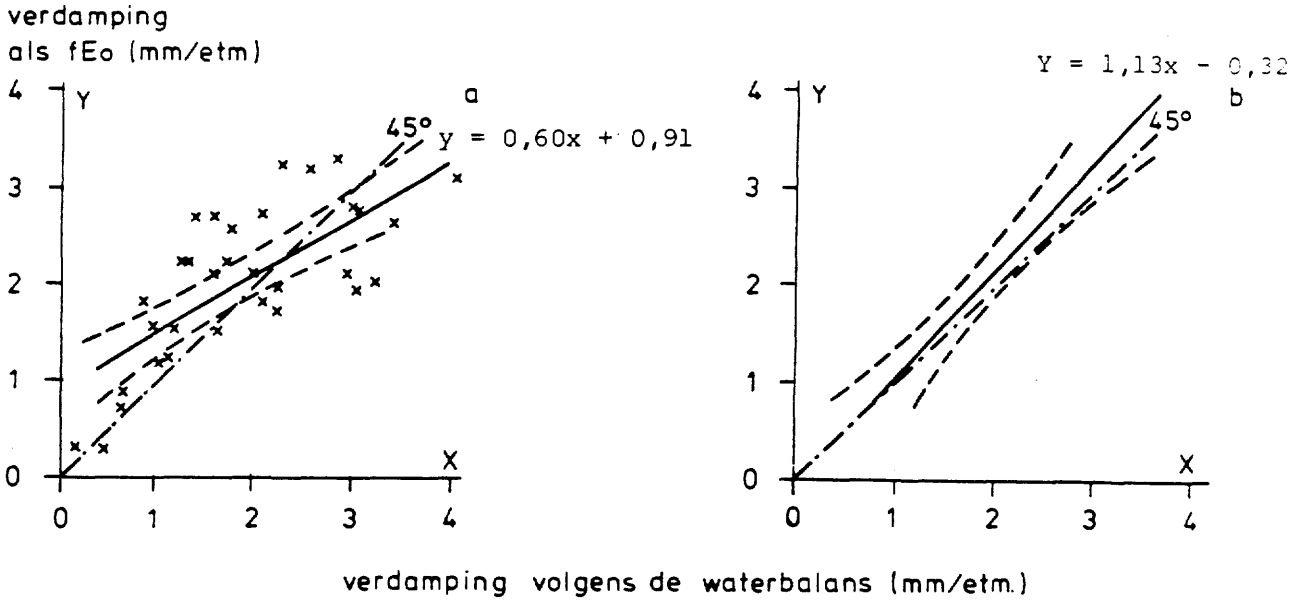


Fig. 5.11. Overeenkomst tussen de verdamping berekend als fE_o en die volgens de waterbalans van het drainage-lysimeterveld.

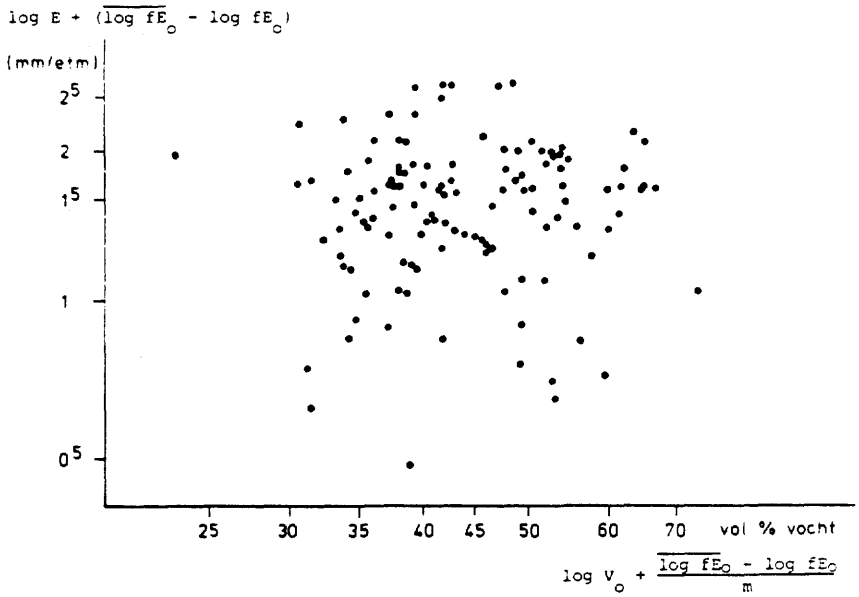


Fig. 5.12. De logarithme van de werkelijke verdamping uitgezet tegen de logarithme van het vochtgehalte, met uitschakeling van de invloed van ongelijke atmosferische verdamping en van ongelijke waarden van f. De figuur geldt voor de gehele polder. (E en E_o in mm/etm, V_o in vol. % vocht)

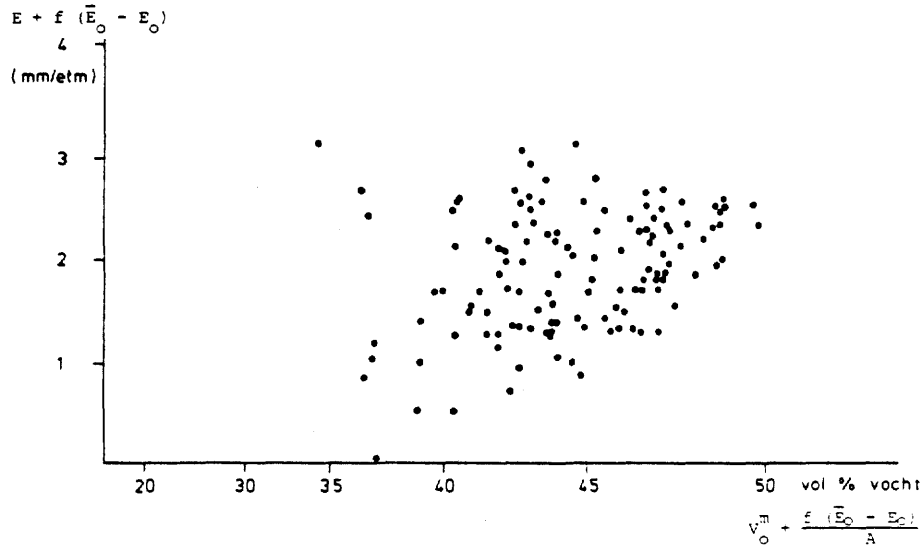


Fig. 5.13. E uitgezet tegen de derde macht van het volume percentage vocht bij een atmosferische verdamping van 2,5 mm/etm. De invloed van ongelijke atmosferische verdamping en van ongelijke waarden van f is uitgeschakeld. De figuur geldt voor de gehele polder.

HOOFDSTUK 6: VERDAMPINGSBEREKENINGEN OP HET LYSIMETERSTATION VAN HET ICW (VOORHEEN CILO) TE WAGENINGEN EN IN DE ROTTEGATSPOLDER

6.1 INLEIDING

In dezelfde periode als het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder liep, werd in Wageningen aan weegbare lysimeters de werkelijke verdamping bepaald (CILO: 1952 t/m 1956, ICW: 1957 t/m 1962). Ondanks de meteorologische verschillen tussen beide lokaties is er toch een vergelijking mogelijk met het waterverbruik van het drainage-lysimeterveld (d.l.v.). Bij vrij lange balansperioden zullen de weersomstandigheden namelijk niet al te uiteenlopend zijn.
De weegbare lysimeters (12 stuks) waren gevuld met een met het drainage-lysimeterveld vergelijkbaar ongeroerd kleiprofiel en waren met kort gras begroeid. Uit de waterbalans (elke 3 à 4 dagen) is door middel van weging de werkelijke verdamping V als enige onbekende te bepalen:

verdamping = neerslag - drainage - verandering vochtgehalte.

Het grondwaterniveau werd in de verschillende lysimeters constant gehouden maar op verschillende diepten, variërend van 0,50 m tot 1,45 m onder maaiveld.

Voor de bepaling van de termen van de waterbalans waren op het lysimeterstation tevens de volgende instrumenten aanwezig, hoewel niet gedurende alle meetjaren:
- twee of vijf regenmeters;
- een windwijzer;
- een of twee windsnelheidsmeters;
- thermometers;
- thermohygrograaf;
- psychrometer;
- tensiometers in alle lysimeters;
- nylonweerstandselementen in alle lysimeters ter bepaling van het vochtgehalte ter plaatse van het element;
- waterstandsbuizen in alle lysimeters;
- twee verdampingsbakken voor de bepaling van de open-water-verdamping en Piche-meters voor het verdampend vermogen van de lucht.

Voor meer informatie omtrent inrichting van het lysimeterstation, het vullen van de lysimeters en de grond in de lysimeters wordt verwezen naar MAKKINK (1962).

6.2 DE VERDAMPING UIT DE VERDAMPINGSBAKKEN

De open water verdamping werd in 2 ingegraven bakken, beide met een diameter van 50 cm en een diepte van 23 cm gemeten. Het waterniveau in de bakken werd van 1952 tot 1956 op circa 2 cm beneden de rand gehouden.
In verband met onnauwkeurigheden die optraden als gevolg van uitspatten en overlopen tijdens regenbuien, werd voor de regendagen de verdamping berekend met de volgende empirische formule (verslag 7, pag. 50):

$$E'_{bak} = 0{,}148\ E_{Piche} + 0{,}265\ d - 2{,}84$$

waarin: E'_{bak} = verdamping volgens de verdampingsbak (mm/etm)
E_{Piche} = verdamping volgens de Piche-meters (cc/etm)
d = daglengte in uren.

Vanaf 1955 is het waterniveau in de verdampingsbakken op 3,5 cm beneden de rand gehouden. Vanaf die tijd zijn voor de verdampingswaarden E_{bak} voor regendagen wel de verdampingsbakwaarnemingen gebruikt. De Piche-meters waren opgesteld op 15 cm boven het kort gehouden gras en bestonden in plaats van uit vloeipapier uit witte ongeglazuurde horizontaal opgestelde aardewerk plaatjes. Het bleek namelijk dat het vloeipapier bij sterke wind stuk waaide.
De verdampingscijfers over de jaren 1952 t/m 1962 staan per balansperiode gesommeerd in de verslagen 6 t/m 15 onder hoofdstuk 6. In tabel 6.1 zijn alle E_{bak}-cijfers bijeengebracht.
Voor de wintermaanden november t/m maart zijn in verband met vorst meestal geen waarnemingen van deze meters opgegeven.

Tabel 6.1. De gemeten bakverdamping (E_{bak}) en gewasverdamping van de met gras begroeide kleilysimeters (E_{lys}) op het lysimeterveld te Wageningen per balansperiode over de jaren 1952 t/m 1962.

Verslag no.	Periode	Aantal dagen	E_{bak} (mm)	E_{lys} (mm)	Opmerkingen in de verslagen
6	4/ 4/52 t/m 2/ 5/52	28	44	79	Zandlysimeters zouden hogere verdampingen hebben gegeven
	3/ 5/52 t/m 5/ 6/52	34	104	82	
	6/ 6/52 t/m 27/ 6/52	22	51	48	
	28/ 6/52 t/m 1/ 8/52	35	102	93	
	2/ 8/52 t/m 2/ 9/52	29	65	63	
	3/ 9/52 t/m 1/10/52	29	46	39	
	1/10/52 t/m 30/10/52	29	27	14	
7	1/11/52 t/m 10/12/52	41		-2	
	11/12/52 t/m 13/ 1/53	34		31	
	14/ 1/53 t/m 3/ 2/53	21		13	
	4/ 2/53 t/m 4/ 3/53	29		30	
	5/ 3/53 t/m 26/ 3/53	22		31	
	27/ 3/53 t/m 4/ 5/53	39	69*	78	
	5/ 5/53 t/m 4/ 6/53	31	85*	76	
	5/ 5/53 t/m 7/ 7/53	33	86*	90	
	8/ 7/53 t/m 3/ 8/53	27	97*	62	
	4/ 8/53 t/m 1/ 9/53	29	77*	63	
	2/ 9/53 t/m 2/10/53	31	57*	57	
	2/10/53 t/m 29/10/53	27	15*	16	
8	30/10/53 t/m 2/12/53	34		10	Droge maanden juli t/m september
	3/12/53 t/m 2/ 4/54	121		29	
	3/ 4/54 t/m 28/ 4/54	26		47	
	29/ 4/54 t/m 2/ 6/54	35	126	76	
	3/ 6/54 t/m 1/ 7/54	29	91	80	
	2/ 7/54 t/m 3/ 8/54	33	87	68	
	4/ 8/54 t/m 2/ 9/54	30	56	69	
	3/ 9/54 t/m 7/10/54	35	50	46	
	8/10/54 t/m 1/11/54	25	9	16	
9	1/11/54 t/m 2/12/54	31		11	Droog jaar
	3/12/54 t/m 31/ 3/55	119		46	
	1/ 4/55 t/m 29/ 4/55	29		57	
	30/ 4/55 t/m 31/ 5/55	32	90	75	
	1/ 6/55 t/m 1/ 7/55	31	118	93	
	2/ 7/55 t/m 1/ 8/55	31	123	91	
	2/ 8/55 t/m 30/ 8/55	29	95	70	
	31/ 8/55 t/m 3/10/55	34	61	44	
	4/10/55 t/m 31/10/55	28		12	
	1/11/55 t/m 28/11/55	28		6	
10	29/11/55 t/m 4/ 1/56	37		-3	Nat jaar met veel interceptie
	5/ 1/56 t/m 29/ 3/56	85		2	
	30/ 3/56 t/m 3/ 5/56	35	50	51	
	4/ 5/56 t/m 6/ 6/56	34	92	95	
	7/ 6/56 t/m 3/ 7/56	27	66	57	
	4/ 7/56 t/m 6/ 8/56	34	78	75	
	7/ 8/56 t/m 7/ 9/56	32	67	59	

Verslag no.	Periode			Aantal dagen	E_{bak} (mm)	E_{lys} (mm)	Opmerkingen in de verslagen
	8/ 9/56	t/m	1/10/56	24	32	35	
	2/10/56	t/m	1/11/56	31	25	15	
	2/11 56	t/m	3/12/56	32		1	
11	4/12/56	t/m	4/ 2/57	63		-2	
	5/ 2/57	t/m	5/ 3/57	29	19	12	
	6/ 3/57	t/m	1/ 4/57	27	28	25	
	2/ 4/57	t/m	1/ 5/57	30	72	74	
	2/ 5/57	t/m	3/ 6/57	33	102	92	
	4/ 6/57	t/m	1/ 7/57	28	112	87	
	2/ 7/57	t/m	1/ 8/57	31	105	83	
	2/ 8/57	t/m	2/ 9/57	32	80	54	
	3/ 9/57	t/m	1/10/57	29	37	22	
	2/10/57	t/m	5/11/57	35	18		
12	4/12/57	t/m	30/ 1/58	58	13		Zeer regelmatig
	31/ 1/58	t/m	4/ 3/58	33	14	10	verdeelde neer-
	5/ 3/58	t/m	31/ 3/58	27	27	20	slag in de zomer
	1/ 4/58	t/m	1/ 5/58	31	51	43	
	2/ 5/58	t/m	2/ 6/58	32	71	76	
	3/ 6/58	t/m	2/ 7/58	30	94	71	
	3/ 7/58	t/m	1/ 8/58	30	94	74	
	2/ 8/58	t/m	2/ 9/58	32	90	80	
	3/ 9/58	t/m	2/10/58	30	69	48	
	3/10/58	t/m	3/11/58	32	33	27	
	4/11/58	t/m	2/12/58	29	10	6	
13	3/12/58	t/m	30/12/58	28	8	1	Om verbranding van
	31/12/58	t/m	2/ 3/59	62	13	33	de grasmat in dit
	3/ 3/59	t/m	1/ 4/59	30	26	23	zeer droge jaar te
	2/ 4/59	t/m	1/ 5/59	30	50	56	voorkomen begin
	2/ 5/59	t/m	2/ 6/59	32	115	102	juni in elke lysi-
	3/ 6/59	t/m	1/ 7/59	29	135	110	meterbak 60 mm
	2/ 7/59	t/m	3/ 8/59	33	151	88	gietwater toege-
	4/ 8/59	t/m	1/ 9/59	29	90	65	diend
	2/ 9/59	t/m	1/10/59	30	90	40	
	2/10/59	t/m	3/11/59	33	46	17	
	4/11/59	t/m	1/12/59	28	9	6	
14	2/12/59	t/m	29/12/59	28	16	0	Door enorme regen-
	30/12/59	t/m	1/ 3/60	63	14	21	val gedurende een
	2/ 3/60	t/m	1/ 4/60	31	29	35	aantal balans-
	2/ 4/60	t/m	3/ 5/60	32	76	65	perioden aantal
	4/ 5/60	t/m	30/ 5/60	27	82	72	cijfers niet be-
	31/ 5/60	t/m	30/ 6/60	31	123	95	trouwbaar
	1/ 7/60	t/m	2/ 8/60	33	87	65	
	3/ 8/60	t/m	5/ 9/60	34	74	72	
	6/ 9/60	t/m	4/10/60	29	44	46	
	5/10/60	t/m	3/11/60	30	22	61**	
	4/11/60	t/m	1/12/60	28	7	47**	

Verslag no.	Periode	Aantal dagen	E_{bak} (mm)	E_{lys} (mm)	Opmerkingen in de verslagen
15	2/12/60 t/m 9/12/60	8	1	9	Vanwege de zeer grote hoeveelheden neerslag in de beide zomers kon geen effect van vochttekort op de verdamping worden aangetoond
	10/12/60 t/m 20/12/60	11	2	-2	
	21/12/60 t/m 5/ 1/61	16	3	3	
	6/ 1/61 t/m 1/ 2/61	27	3	5	
	2/ 2/61 t/m 15/ 2/61	14	14	3	
	16/ 2/61 t/m 2/ 3/61	15	13	5	
	3/ 3/61 t/m 23/ 3/61	21	17	21	
	24/ 3/61 t/m 5/ 4/61	13	13	12	
	6/ 4/61 t/m 18/ 4/61	13	18	26	
	19/ 4/61 t/m 3/ 5/61	15	25	31	
	4/ 5/61 t/m 16/ 5/61	13	33	34	
	17/ 5/61 t/m 2/ 6/61	17	44	40	
	3/ 6/61 t/m 20/ 6/61	18	49	46	
	21/ 6/61 t/m 4/ 7/61	14	54	43	
	5/ 7/61 t/m 18/ 7/61	14	31	20	
	19/ 7/61 t/m 2/ 8/61	15	32	28	
	3/ 8/61 t/m 15/ 8/61	13	32	31	
	16/ 8/61 t/m 31/ 8/61	16	39	28	
	1/ 9/61 t/m 19/ 9/61	19	26	36	
	20/ 8/61 t/m 2/10/61	13	16	11	
	3/10/61 t/m 17/10/61	15	18	12	
	18/10/61 t/m 1/11/61	15	12	7	
	2/11/61 t/m 16/11/61	15	15	12	
	17/11/61 t/m 22/12/61	36	12		
	23/12/61 t/m 4/ 1/62	13	4	4	
	5/ 1/62 t/m 18/ 1/62	14		4	
	19/ 1/62 t/m 1/ 2/62	14		4	
	2/ 2/62 t/m 14/ 2/62	13		4	
	15/ 2/62 t/m 7/ 3/62	21		5	
	8/ 3/62 t/m 3/ 4/62	27		20	
	4/ 4/62 t/m 17/ 4/62	14	20	13	
	18/ 4/62 t/m 2/ 5/62	15	34	38	
	3/ 5/62 t/m 16/ 5/62	14	23	19	
	17/ 5/62 t/m 5/ 6/62	20	52	45	
	6/ 6/62 t/m 19/ 6/62	14	54	41	
	20/ 6/62 t/m 3/ 7/62	14	34	42	
	4/ 7/62 t/m 17/ 7/62	14	39	26	
	18/ 7/62 t/m 31/ 7/62	14	46	39	
	1/ 8/62 t/m 16/ 8/62	16	46	36	
	17/ 8/62 t/m 4/ 9/62	19	49	41	
	5/ 9/62 t/m 18/ 9/62	14	31	19	
	19/ 9/62 t/m 2/10/62	14	27	11	
	3/10/62 t/m 17/10/62	15	15	5	
	18/10/62 t/m 2/11/62	16	17	8	
	3/11/62 t/m 20/11/62	18	7	11	
	21/11/62 t/m 4/12/62	14	0	1	
	5/12/62 t/m 18/12/62	14	3	-4	

* maandcijfers april t/m oktober
** onbetrouwbaar vanwege hoge neerslag

6.3 DE VERDAMPING UIT DE MET GRAS BEGROEIDE LYSIMETERS

De werkelijke verdamping per balansperiode volgens de lysimeters zijn bepaald vanaf 1952 tot en met 1962. Per lysimeter werd een constante diepte van de grondwaterstand ingesteld om te zien of deze het verdampingsniveau beïnvloedde. De grondwaterstandsdiepten lagen tussen 50 en 145 cm beneden maaiveld. Het maaien van het gras gebeurde elke 4 à 5 weken. Er bleek geen aantoonbaar verschil tussen de verschillende lysimeters op te treden, zelfs niet in droge jaren. Voor een vergelijking met het drainagelysimeterveld in de Rottegatspolder (d.l.v.) werd dan ook het gemiddelde van de kleilysimeters genomen, waarbij lysimeters met sterk afwijkende waarden buiten beschouwing werden gelaten. De aldus bepaalde E_{lys} staan per balansperiode eveneens in tabel 6.1. De balansperioden vallen ongeveer samen met de maanden van het jaar. Door rekening te houden met het aantal dagen in elke balansperiode kan bij benadering de verdamping per maand per jaar worden bepaald. In tabel 6.2 staan de resultaten van deze berekening voor de maanden april t/m oktober. De hieruit afgeleide gemiddelde dagverdamping per maand gedurende de jaren 1952 t/m 1962 (zie onderaan de tabel) staat weergegeven in fig. 6.1. Tenslotte kan per maand de verhouding E_{lys}/E_{bak} worden bepaald; zie laatste regel van tabel 6.2.
Het is interessant om te zien hoe beide verdampingsgrootheden zich verhouden tot de open waterverdamping $E_{o,DB}$ van De Bilt zoals die wordt weergegeven in de maandelijkse overzichten van het KNMI. Tabel 6.3 geeft het resultaat van deze vergelijking voor de maanden april t/m september over de jaren 1952 t/m 1962. De verhouding $E_{bak}/E_{o\ DB}$ varieert tussen 0,72 en 0,91 en de verhouding $E_{lys}/E_{o,DB}$ tussen 0,65 en 0,77. Worden de (zeer) droge jaren 1955 en 1959 uitgezonderd, dan varieert $E_{lys}/E_{o,DB}$ tussen 0,66 en 0,77, met een zomerhalfjaargemiddelde van 0,72. Wordt alleen rekening gehouden met de maanden waarin op basis van neerslag- en verdampingscijfers verondersteld kan worden dat E_{lys} ongeveer gelijk is aan de potentiële waarde, dan bedraagt de gemiddelde verhouding $E_{lys}/E_{o,DB}$ voor de maanden april t/m september respectievelijk 0,72; 0,77; 0,76; 0,67; 0,74 en 0,70. Het aantal gebruikte maanden hiervoor bedroeg achtereenvolgens 8, 4, 3, 5, 9 en 9. Het zomerhalfjaargemiddelde hiervan is 0,73.

Tabel 6.2 De op maandbasis herleide bakverdamping (E_{bak}) en lysimeterverdamping (E_{lys}) in mm gedurende de jaren 1952 t/m 1962 voor het lysimeterstation Wageningen

	april		mei		juni		juli		augustus		september		oktober	
	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}	E_{bak}	E_{lys}
1952	47	85	95	75	70	65	90	82	69	67	48	40	27	15
1953	69	60	85	76	86	82	97	71	77	67	57	55	15	18
1954		54	112	67	94	83	82	64	58	71	43	39	11	20
1955		60	87	71	114	90	124	90	102	74	54	39		12
1956	42	42	117	87	72	63	71	68	65	56	39	45	25	16
1957	72	75	96	87	120	93	105	84	78	53	39	24		19
1958	48	36	68	74	93	72	96	78	87	78	69	48	31	25
1959	51	57	112	99	141	114	143	84	96	68	90	39	43	16
1960	72	60	93	84	121	93	81	62	68	65	45	48	22	
1961	45	60	81	78	96	84	68	53	74	62	39	44	31	19
1962	57	54	68	59	93	90	93	71	84	67	63	33	30	12
gemiddeld	56	60	82	80	100	85	95	73	78	67	52	40	27	17
standaard afw.	12	16	16	12	22	14	22	11	13	7	17	7	9	4
E_{lys}/E_{bak}	1,07		0,98		0,85		0,77		0,86		0,77		0,63	

Tabel 6.3 Vergelijking tussen E_{bak} en E_{lys} met de open waterverdamping, $E_{o\ DB}$, berekend voor De Bilt

Periode		april	mei	juni	juli	augustus	september	april t/m september
1956 t/m 1962	E_{bak} (mm)	56	82	100	95	78	53	473
	E_{lys} (mm)	59	80	85	73	67	40	400
	E_o (mm)	78	107	124	112	87	58	566
	E_{bak}/E_o	0,72	0,77	0,81	0,85	0,90	0,91	0,84
	E_{lys}/E_o	0,76	0,75	0,69	0,65	0,77	0,69	0,71
1952 t/m 1962 excl. 1955 en 1959	E_{bak} (mm)	52	78	94	87	73	48	432
	E_{lys} (mm)	58	79	81	71	65	40	394
	E_o (mm)	78	105	121	107	84	55	550
	E_{bak}/E_o	0,67	0,74	0,78	0,81	0,87	0,87	0,79
	E_{lys}/E_o	0,74	0,75	0,67	0,66	0,77	0,73	0,72

Deze aldus berekende gewasfactor, f, geldt voor perioden met relatief geringe verdampingsvraag. Uit vergelijking met de frekwentieverdelingen van de open waterverdamping per maand blijkt nl. dat gemiddeld in 80% van de maanden deze verdampingsvraag wordt overschreden. In perioden met hogere verdampingsvraag wordt de verhouding tussen potentiële evapotranspiratie en $E_{o,DB}$ groter. Uit berekeningen is af te leiden dat bijv. in perioden met een verdampingsvraag die slechts in 10% van de tijd wordt overschreden deze verhouding ongeveer 5% hoger ligt dan in perioden met een 80% overschrijdingskans. De gewasfactor zal dus ook met ca. 5% toenemen en wordt daarmee ca. 0,77. Voor een gemiddelde situatie kan de gewasfactor, althans volgens deze gegevens, gesteld worden op 0,75.

6.4 VERGELIJKING MET DE VERDAMPINGSCIJFERS VAN HET DRAINAGE-LYSIMETERVELD IN DE ROTTEGATSPOLDER

Uit vergelijking van de op het lysimeterstation gemeten verdampingscijfers met de cijfers van het drainage-lysimeterveld (d.l.v.) in de Rottegatspolder blijkt dat tot 1960 in het voorjaar de

waarden voor $E_{lys}/E_{d.l.v.}$ aanzienlijk hoger liggen dan in de zomermaanden (zie voorbeeld tabel 6.4.). Dit wordt veroorzaakt door het feit dat op de lysimeters van het drainage-lysimeterveld tot 1960 akkerbouwgewassen stonden die in de eerste maanden van het groeiseizoen de grond nog niet volledig bedekken. In de zomermaanden zijn de gewassen op het drainage-lysimeterveld in het voordeel en blijft E_{lys} bij $E_{d.l.v.}$ achter. Bij sommatie over de maanden april t/m oktober blijken deze verschillen grotendeels te zijn verdwenen. Vanaf 1960, als op de lysimeters in de Rottegatspolder eveneens gras staat, komen de maandelijkse waarden van E_{lys} en $E_{o,DB}$ veel dichter bij elkaar te liggen en zijn gemiddeld genomen even groot.

Tabel 6.4 Gemeten verdamping op het lysimeterveld te Wageningen (E_{bak} en E_{lys}) en in de Rottegatspolder op het drainage-lysimeterveld ($E_{d.l.v.}$) voor het jaar 1957

	april	mei	juni	juli	augustus	september
E_{bak} (mm)	72	102	112	105	80	37
E_{lys} (mm)	74	92	87	83	54	22
$E_{d.l.v.}$ (mm)	12	56	68	126	70	56
E_{lys}/E_{bak}	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6
$E_{lys}/E_{d.l.v.}$	6,1	1,6	1,3	0,7	0,8	0,4

In tabel 6.5 staan de verdampingstotalen voor de perioden april t/m oktober over de jaren 1952 t/m 1962 voor de lysimeter te Wageningen en het drainage-lysimeterveld in de Rottegatspolder. De variaties $E_{lys}/E_{d.l.v.}$ blijken bij vergelijking over langere perioden geheel te verdwijnen. De waarnemingen aan de lysimeters te Wageningen zijn dus met name bruikbaar voor vergelijking met de situatie in de Rottegatspolder wanneer het gaat om langere perioden en minder geschikt wanneer maandsommen nodig zijn.

Tabel 6.5 De gemeten verdamping op het lysimeterveld te Wageningen (E_{bak} en E_{lys}) en de in de Rottegatspolder bepaalde verdamping op het drainage-lysimeterveld ($E_{d.l.v.}$) over de jaren 1952 t/m 1962

Periode	Aantal dagen	E_{bak} (mm)	E_{lys} (mm)	$E_{d.l.v.}$ (mm)	E_{lys}/E_{bak}	$E_{lys}/E_{d.l.v.}$
4/4/52 - 30/10/52	210	439	417	478	0,95	0,87
26/3/53 - 29/10/53	218	486	444	421	0,91	1,05
2/4/54 - 1/11/54	214	419	355	322	0,83	1,10
29/4/55 - 28/11/55	214	519*	391	419	0,81	0,93
30/3/56 - 1/11/56	217	375	387	431	1,03	0,90
2/4/57 - 5/11/57	218	526	435	418	0,83**	1,04
1/4/58 - 3/11/58	217	502	419	428	0,83	0,98
2/4/59 - 3/11/59	216	677	478	394	0,71	1,21
2/4/60 - 3/11/60	216	508	476	493	0,94	0,97
7/4/61 - 3/11/61	211	442	393	414	0,87	0,95
6/4/62 - 2/11/62	211	487	383	360	0,79	1,06
Gemiddeld		489	416	416	0,85	1,00***

* De waarden voor oktober en november zijn bepaald door middel van interpolatie uit de verdamping E_o in Urk en de $E_{d.l.v.}$ in de Rottegatspolder.

** E_{lys} voor oktober is bepaald door middel van extrapolatie van E_o en $E_{d.l.v.}$ over die periode.

*** $E_{lys}/E_{d.l.v.}$= 1,00 is zowel het gemiddelde van alle $E_{lys}/E_{d.l.v.}$-waarden als het resultaat van $E_{lys}/E_{d.l.v.}$ (afzonderlijke gemiddelden).

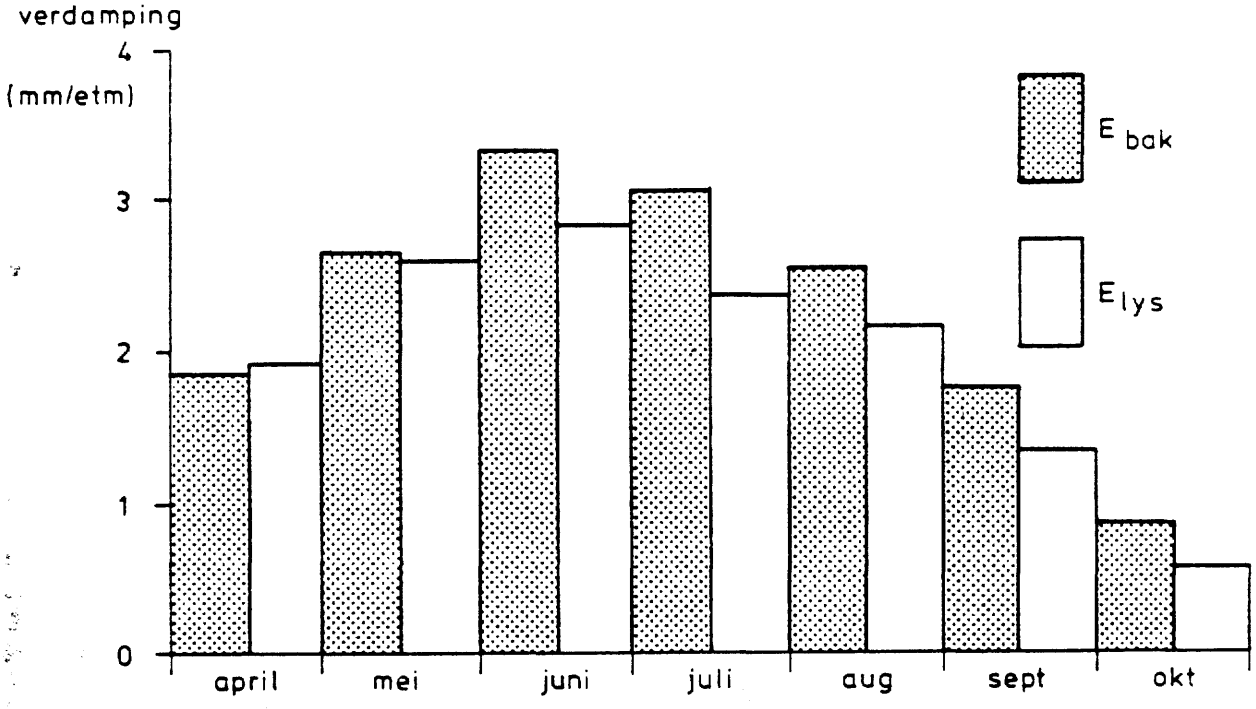


Fig. 6.1. De gemiddelde dagverdamping per maand van verdampingbakken (E_{bak}) en lysimeters (E_{lys}) gedurende de jaren 1952 t/m 1962 voor het lysimeterstation Wageningen.

HOOFDSTUK 7: BEREKENING VAN DE TERMEN VAN DE WATERBALANS EN VAN DE GRONDWATERSTAND VOLGENS DE METHODE VAN DYNAMISCHE DIGITALE SIMULATIE

7.1 INLEIDING

De jaren waarin werd deelgenomen aan de activiteiten van de Werkcommissie kunnen verdeeld worden in twee perioden. De eerste omvat de jaren 1952 tot en met 1956. Over deze periode werden de waarnemingen aan de weegbare Wageningsche lysimeters in de verslagen opgenomen. Ze betroffen de verdamping van gras op ongeroerde kleigrond en van water uit verdampingspannen. Over deze periode zijn de waarnemingen opgenomen in hoofdstuk 6.
Voor de tweede periode, omvattende de jaren 1957 tot en met 1971 toen de lysimeters niet meer in beheer waren bij het IBS, werd voor het drainage-lysimeterveld (DLV) en de Rottegatspolder de verdamping berekend. De waarnemingen van dit lysimeterveld en de polder werden gebruikt om de berekeningsmethode te toetsen. Deze ontwikkelde zich in die periode van een primitief gebruik van grafisch gevonden gewasfactoren tot een gedetailleerde digitale simulatie van het gehele proces van het watertransport van de grond, al of niet via gewassen naar de atmosfeer. Dit proces werd gesplitst in een reeks processen waarvoor een waterboekhouding werd bijgehouden. Het vele rekenwerk hieraan verbonden noodzaakte tot het inschakelen van een computer. Bij deze procedure konden ook de grondwaterstandsveranderingen worden berekend. De bedoeling heeft hierbij voorgezeten een werkwijze te ontwikkelen die ook elders zou kunnen worden toegepast.
Gezien de ontwikkeling van de berekeningsmethode kan deze tweede periode verdeeld worden in drie tijdvakken, nl. 1957-1960, 1961-1964 en 1965-1971.

7.2 1957-1960

Met ingang van 1957 kwamen wegens reorganisatie van het landbouwkundig onderzoek de lysimeters onder beheer van het ICW. Bij dezelfde reorganisatie werd het CILO opgeheven en deels voortgezet als Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen (IBS). Besloten werd toen de mogelijkheid te onderzoeken om zonder lysimeters de verdamping te berekenen met behulp van weerkundige gegevens en voorhanden kennis van de verdamping van gewassen.

In het 11-de verslag (1957) werd de verdamping berekend uitgaande van de per balansperiode gemiddelde potentiële evapotranspiratie van kort gras. De formule hiervoor kwam voort uit het lysimeteronderzoek te Wageningen.

$E_{tp} = c_4 \cdot K_{gem} \cdot \lambda^{-1} \cdot s \cdot (s+\gamma)^{-1} - c_6$

$c_4 = 0{,}61\ cm^2$

$c_6 = 0{,}12\ mm.etm^{-1}$

E_{tp} = potentiële transpiratie van een gesloten kort grasdek ($mm.etm^{-1}$).

K_{gem} = gemeten globale straling ($cal.cm^{-2}.etm^{-1}$).

λ = latente warmte van water ($cal.mm^{-1}$).

S = toename van de maximale dampspanning per graad C, bij de heersende gemiddelde etmaal temperatuur van 8.00 tot 8.00 uur op 2 m hoogte ($mmHg.C^{-1}$).

γ = psychrometerconstante ($mmHg.C^{-1}$).

E_{tp} werd vermenigvuldigd met een plaatsfactor, vanwege het feit dat de weergegevens op Wageningen betrekking hadden, en met een gewasfactor, om het effect weer te geven van de gewashoogte en de vochttoestand van de grond op de verdamping.
De plaatsfactor is het quotiënt van de open waterverdamping van Eelde en Wageningen, afgelezen van evaporetenkaarten van Nederland, per maand getekend, uitgaande van de met de formule van Penman berekende waarden van de open waterverdamping voor een 20-tal stations van het KNMI.
De gewasfactoren werden berekend voor de balans-perioden van het DLV uit voorgaande jaren als de verhouding van de waargenomen verdamping E_{wr} en de over de balansperiode berekende E_{tp}.

$$f = E_{wr} \cdot E_{tp}^{-1}$$

f, gewasfactor (dim.loos)

Nagegaan werd hoe de gewasfactor voor de verschillende gewassen en voor kale grond in de jaren 1950-1957 varieerden. In deze gewasfactor werden het verhogend effect van ruwheid van de grondbedekking tijdens de gewasontwikkeling, noch het verhogend effect van aanhangend water, noch het verlagend effect van

de uitdrogende wortelzone onderscheiden, omdat waarnemingen hierover grotendeels ontbraken. Een samenhang tussen deze globale gewasfactor en het neerslagoverschot $P-E_{wr}$ viel daarom onbevredigend uit.

P = neerslag (mm)
E_{wr} = verdamping uit waargenomen waterbalansposten berekend (mm)

Daar de uitkomsten over 1957 niet bevredigden (11-de verslag) werd voor de jaren 1958-1960 (12-de, 13-de en 14-de verslag) een waterboekhouding toegepast voor aaneensluitende perioden van 5 dagen of minder. Hierbij werd op grond van de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht plus de neerslag in die jaren in die perioden gesteld dat de evapotranspiratie van het gewas potentieel was of gelijk aan de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht plus neerslag.
Weer werd uitgegaan van E_{tp}, met een daaraan gekoppelde echte gewasfactor, variërend met het ontwikkelingsstadium van het gewas. Deze gewasfactor werd geschat op grond van verdampingsgegevens voor perioden waarin mocht worden aangenomen dat de verdamping potentieel was. Uit gegevens van perioden waarvan mocht worden aangenomen dat de hoeveelheid grondvocht beperkend was, werden waarden voor de bij veldcapaciteit beschikbare hoeveelheid water in de wortelzone (w_v) als volgt geschat: in die perioden werd de gemeten verdamping gelijk geacht aan regenval plus w_v. Voor natte kale grond werd aangenomen dat deze wat verdamping betreft zich als een vrij wateroppervlak gedraagt. Dit is ook gevonden in een 14-tal winterperioden.
Per periode werd de verdamping als potentieel berekend wanneer $P + w_r$ groter of gelijk was aan de potentiële verdamping; was dat niet het geval, dan werd de verdamping gelijk gesteld aan $P + w_r$ (w_r is de werkelijke hoeveelheid bodemvocht van de wortelzone aan het begin van de rekenperiode). Is w_r aan het eind van de rekenperiode groter dan w_v, dan wordt het surplus opgevat als drainwater, en w_r daarna gelijk aan w_v gesteld. In 1960 werd voor het eerst rekening gehouden met capillaire opstijging. Hiervoor werd voor pentaden uit 1959 een kromme samengesteld voor het verband tussen vochttekort in de verdampingszone (zone die water voor de verdamping levert, maximaal de wortelzone) en de gemeten inlaat. De kromme voor 1959 bleek in vergelijking met die welke uit de boekhouding van 1960 werd berekend belangrijk steiler te zijn.

Dit kan op rekening van het verschil in gewassen worden gesteld: in 1959 vlas, in 1960 gras. In beide jaren bleken de berekende inlaat-cijfers redelijk met de metingen overeen te komen, behalve aan het begin van de verslagperiode en aan het begin van de nazomerdrainage-periode. Na vermindering van het geschatte initiële waterdeficit en de geschatte wortelcapaciteit werden de uitkomsten beter.
Voor de perioden in de jaren 1957-1960 zijn de berekende en gemeten verdamping tegen elkaar uitgezet in fig. 7.1.
Over de jaren 1958 en 1959 werd de verdamping van de polder nagenoeg op dezelfde manier berekend als in 1957, waarbij gebruik gemaakt werd van grafieken, waarin de waargenomen E_{wr} bij verschillende regenintensiteiten was uitgezet tegen E_{tp}.
Voor 1960 werd ook voor de polder de boekhoudmethode gebruikt. Hierbij werden geen afzonderlijke gewassen meer onderscheiden, maar werd gewerkt met een gemiddelde begroeiing, met een gewogen gewasfactor en een gewogen hoeveelheid beschikbaar water in de verdampingszone.
De verdampingsuitkomsten voor de polder over de jaren 1957-1960 zijn in fig. 7.2 uitgezet tegen de waarnemingen.

7.3 1961-1964

In het 15-de en 16-de verslag (1961-1964) werd de boekhoudmethode gebruikt met rekenperiode van één dag. Dit was mogelijk geworden omdat gebruik kon worden gemaakt van een computer.
In de basisformule voor E_{tp} werden aan c_4 en c_6 verbeterde waarden gegeven, nl. $c_4 = 0{,}83$ en $c_6 = 0{,}51$.
De belangrijkste aanvulling was dat nu ook de capillaire opstijging werd berekend. Daarvoor was het noodzakelijk naast de wortel- of verdampingszone ook de grondwaterzone (tot een diep gelegen referentievlak) in de berekening te betrekken. Zo werden dus drie zones van variabele capaciteit gehanteerd: de verdampingszone, de grondwaterzone en een tussenliggende zone.
Bij het berekenen van de hoeveelheid capillair opstijgend water werd gebruik gemaakt van de formule:

$$v_z = c_5 \cdot (h_{4,2})^{c_3}$$

v_z = capillair transport ($mm.etm^{-1}$)
c_5 = constante ($10^{-1}.etm^{-1}$)
c_3 = constante (-)
$h_{4,2}$ = hoogte boven het grondwater waar pF 4,2 heerst (cm)

Schematisch werd aangenomen dat de pF 4,2 te vinden is op een denkbeeldige diepte waarboven het gehele bodemvochtdeficit is samengepakt. Aangenomen werd, dat zolang deze leegte bovenin het profiel nog niet geheel is hervuld door regenval, de capillaire opstijging voortduurt. Daarom werd bijgehouden hoe lediging en hervulling in de tijd verliepen. Ook de toename van de verdampingszone door wortelgroei werd bijgehouden, terwijl ook werd bijgehouden wat de consequenties waren van grondwaterstandsveranderingen voor zowel de grondwaterzone als voor de zone liggend tussen verdampingszone en grondwaterzone.
Deze rekenprocedure blijkt achteraf beschouwd nodeloos ingewikkeld te zijn en op bepaalde plaatsen onjuist.
In deze periode werden metingen van het vochtgehalte in de grond niet langer gravimetrisch, maar neutronisch gedaan.
Bij sommering van de gemeten vochtveranderingen over de jaren 1961 en 1962 bleek dat de totale vochtinhoud van het profiel 50 mm hoger uitkwam dan het profiel in alle voorgaande jaren ooit aan water had bevat volgens de gravimetrische methode. Ook het profiel van de polder gaf in maart een overschrijding van 44 mm t.o.v. de hoogste ooit eerder bereikte waarde. Bij deze nieuwe meting zullen dus fouten zijn gemaakt.
De overeenstemming tussen gemeten en berekende grondvochtverandering (fig. 7.3 en 7.4) is mogelijk om bovenvermelde redenen niet bijzonder goed. Het is duidelijk, dat waar de uit de waterbalans afgeleide verdamping berust op de waargenomen grondvochtveranderingen, de overeenstemming tussen "waargenomen" en berekende verdamping ook niet zal kloppen (fig. 7.5 en 7.6).
De vergelijking tussen gemeten en berekende afvoeren valt beter uit, al zijn de berekende waarden gemiddeld wat te hoog (fig. 7.7 en 7.8).

7.4 1965-1971

Aan het 17-de verslag (1965-1976) werd geen bijdrage verleend. De berekeningen over de jaren 1965-1971 werden gepubliceerd in het 18-de verslag (1967-1971), en hebben alleen betrekking op het DLV.
De ingewikkelde boekhouding, zoals in voorgaande jaren gebruikt, werd omgezet in een zo sterk mogelijk vereenvoudigde simulatie.
Hiertoe werd het plant-bodem systeem onderverdeeld in een aantal compartimenten die water kunnen bevatten t.w.:
voor sneeuw, interceptie water en plassen, de onver-

zadigde-, verzadigde-, transpiratie-, evaporatie-zone, en één voor micellair water.
De transportsnelheden tussen deze compartimenten berusten op een kwantitatieve formulering van de relevante processen. Ze hangen elk moment af van variabelen als: meteorologische gegevens, de toestand van het gewas, de hoeveelheid water aanwezig in de compartimenten waartussen transport plaatsvindt en van bodemkarakteristieken. De transportsnelheden worden geacht gedurende het korte tijdsinterval waarover de berekening plaats vindt constant te zijn en onafhankelijk van andere transportsnelheden. Aan het eind van deze korte rekenperiode wordt de inhoud van de compartimenten berekend uit de inhoud aan het begin van de rekenperiode vermeerderd met de (positieve of negatieve) inhoudsverandering. De inhoud aan het einde van deze rekenperiode fungeert vervolgens als begininhoud voor de volgende rekenperiode, enz. In het kader van dit verslag zou een beschrijving van het simulatiemodel te veel ruimte in beslag nemen. Daarom wordt voor een volledige beschrijving verwezen naar Makkink en van Heemst (1975).
Gedurende de jaren 1965-1971 was het drainage-lysimeterveld met gras bedekt. De gemeten grashoogten zijn ingevoerd als functie van de tijd, de beschikbare maximale hoeveelheid water in de transpiratiezone is op 55 mm gesteld, wat overeenkomt met een effectieve worteldiepte van 25 cm. De worteldiepte is constant verondersteld. De parameters voor de grond zijn dezelfde als die voor het proefjaar 1959. Het verloop van de grondwaterstand is weergegeven in de figuren 7.9 a-f. De getrokken lijn is de berekende grondwaterstand, de punten zijn de gemeten waarden van de grondwaterstand.
De eerste jaren valt de berekende lijn goed samen met de gemeten punten.
De resultaten worden echter jaar na jaar slechter. De berekende grondwaterstand in droge perioden wordt dieper dan de waargenomen grondwaterstand en krijgt pieken in korte natte perioden tussen twee droge. In de laatste drie jaar wordt ook in natte perioden de grondwaterstand te diep berekend.
Zoals te verwachten valt wordt het verschil tussen berekende en gemeten afvoer, verdamping en verandering van het grondvocht groter naarmate de verschillen toenemen tussen berekende en waargenomen grondwaterstand (fig. 7.10 t/m 7.12 en tabel 7.1).

Tabel 7.1 Vergelijking van gemeten en berekende afvoer en verdamping voor drie verslagjaren.

Verslagjaar	Verschil tussen gemeten en berekende afvoer	Verschil tussen gemeten en berekende verdamping
1965-1966	32 mm	-9 mm
1967-1968	-70 mm	77 mm
1969-1970	-193 mm	214 mm

Voor de opeenvolgende verslagjaren wordt de afwijking tussen waarneming en berekening steeds groter. Een verklaring voor deze toenemende afwijking is mogelijk gelegen in een verandering van de grond veroorzaakt door het grondgebruik. Tot 1960 was het drainage-lysimeterveld nl. in gebruik als bouwland, daarna als grasland. Het werd tot 1964 beweid en gehooid. Vanaf 1964 werd het door veelvuldig maaien kort gehouden, terwijl het afgemaaide gras op het veld bleef liggen. Nu is bekend dat door verandering van bouwland in grasland de hoeveelheid organische stof in de bovenlaag van de grond toeneemt. Deze hoeveelheid zal sterker toenemen wanneer de afgemaaide massa op het veld blijft liggen. Verhoging van het percentage organisch materiaal heeft een groter waterhoudend vermogen tot gevolg, wat de verdamping zal verhogen en de afvoer zal verminderen. Het water dat voor deze verhoogde verdamping gebruikt wordt, komt uit de bovenlaag van de grond en heeft dus geen of weinig invloed op de grondwaterstand. In een natte periode tussen twee droge perioden in zal het regenwater in de droge bovenlaag blijven hangen omdat deze een groot waterhoudend vermogen heeft. Het bereikt dus niet de grondwaterzone en geeft geen piek in de grondwaterstand.
Verder zal de hoeveelheid organisch materiaal in de loop der tijd toenemen en de invloed daarvan op de termen der waterbalans zal in de tijd dus sterker worden.
Om deze aanname te toetsen zou de berekening overgedaan moeten worden met een andere pF-kromme, maar helaas zijn bij de opheffing van het drainage-lysimeterveld geen monsters genomen. Daarom is bij een hernieuwde berekening geen nieuwe pF-kromme gebruikt, maar is de capaciteit van de transpiratiezone vergroot met 60 mm. De herberekening is uitgevoerd voor de jaren 1969-1970 omdat daarvoor de resultaten van de eerste berekening het slechtste waren.
Het verschil tussen waargenomen en berekende lozing, dat bij de eerste berekening -205 mm was, werd 7 mm. Voor de verdamping veranderde het verschil

tussen waarneming en berekening van 223 mm in 61 mm (zie ook fig. 7.13).
Ook de berekende grondwaterstand was nu meer in overeenstemming met de waarneming, alhoewel in de zomer nog steeds te diepe grondwaterstanden berekend werden (fig. 7.14).
Eerst eind 1974 kwamen pF-krommen van verschillende profiellagen tot 1 m diepte (met uitzondering van de laag 0-5 cm) beschikbaar, resulterend uit een bemonstering van april 1974 in de voormalige lysimetervelden. Het vochthoudend vermogen van de laag 5-25 cm blijkt in 1974 slechts weinig te zijn toegenomen t.o.v. 1957. Het meeste organisch materiaal zal echter in de laag boven 5 cm geaccumuleerd zijn. Dit, mede gezien het gegeven dat het project waaronder dit onderzoek viel inmiddels van de projectenlijst van het IBS was afgevoerd, heeft ertoe geleid dat geen verdere berekeningen zijn uitgevoerd.

7.5 CONCLUSIE

De uiteindelijk tot stand gekomen digitale dynamische simulatie van een continue waterboekhouding bleek bevredigende resultaten op te leveren. Met het computerprogramma kunnen op andere grondsoorten en voor andere gewassen de waterhuishoudkundige gegevens, de grondwaterstand inbegrepen, berekend worden. Hiervoor zijn naast de op de weerstations gemeten standaard weergegevens slechts een aantal bodem en gewas parameters nodig.
Bij de beoordeling van het programma mag niet uit het oog worden verloren, dat het computerprogramma werd ontworpen in de tijd dat de computers nog langzaam werkten en weinig geheugenruimte hadden en van een verdeling van het profiel in laagjes moest worden afgezien.

Literatuur

Makkink, G.F., 1960. De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. Verslagen en Mededelingen Commissie Hydrologisch Onderzoek T.N.O. no. 4, 90-114. 's-Gravenhage.

Makkink, G.F. en H.D.J. van Heemst, 1962. Het berekenen van de waterbalans van de Schroewegpolder op Walcheren. Versl. Landbouwk. Onderz. 68.2, 21 pp.

Makkink, G.F., 1962. Vijf jaren lysimeteronderzoek. Een hydrologische studie. Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 68.1. PUDOC, Wageningen.

Makkink, G.F. and H.D.J. van Heemst, 1965. Calculation model for the actual evapotranspiration from cropped areas and other terms of the waterbalance equation. Proc. Montpellier Symp., 489-494.

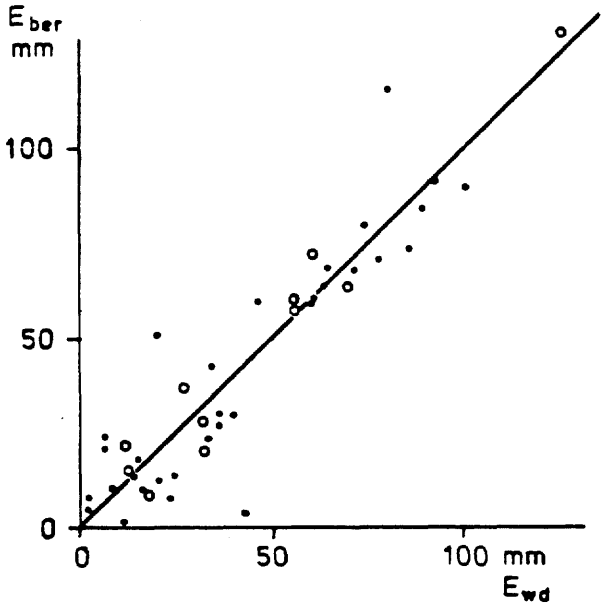
Makkink, G.F. en H.D.J. van Heemst, 1965. Uitdroging en rehydratie van een zware bebouwde kleigrond. Landbouwk. Tijdschrift 77, 77-87.

Makkink, G.F. en H.D.J. van Heemst, 1970. Berekening van de waterbalans van een perceel volgens de methode der dynamische digitale imitatie. Hydrologisch Onderzoek in het Leerinkbeekgebied, deelrapport 10, 195-208.

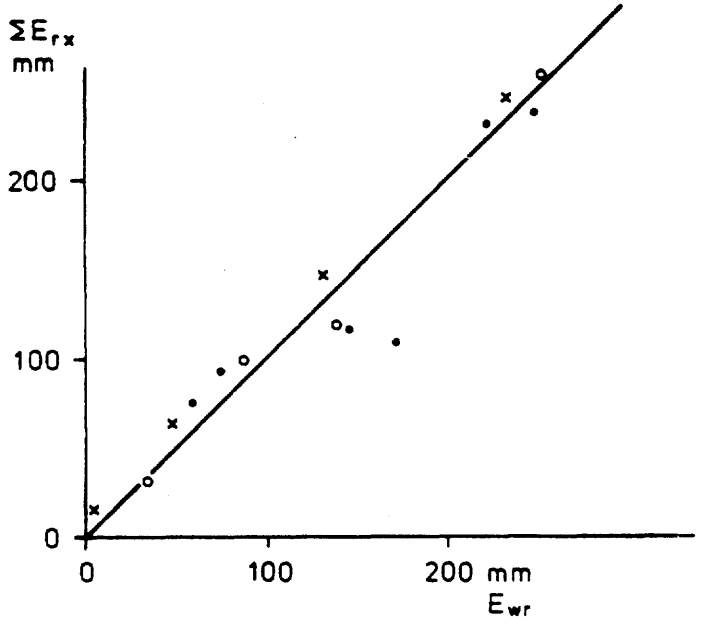
Makkink, G.F. and H.D.J. van Heemst, 1975. Simulation of the waterbalance of arable land and pastures. Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen.

Visser, W.C., 1963a. Formulae for the ecological reaction of crep yields. In: The water relations of plants. Blackwell, Oxford: 326-340. Verspr. overdr. ICW 12.

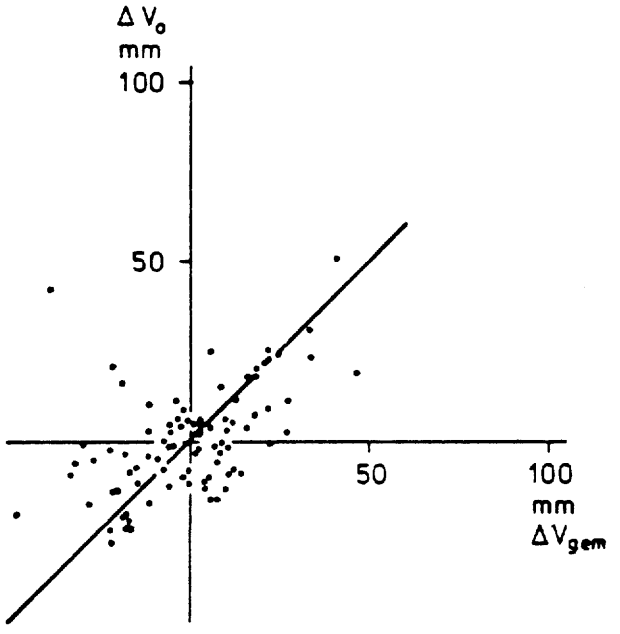
Visser, W.C., 1963b. Soil moisture content and evapotranspiration. Nota ICW 196. Assoc. Intern. Hydrol. Sci. Publ. 62: 288-294. Techn. Bull. ICW 31.



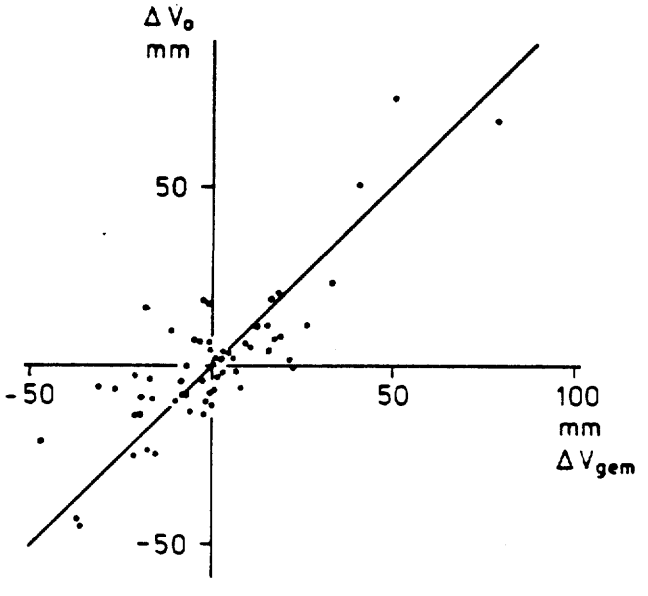
Figuur 7.1. Berekende verdamping E_{ber}, uitgezet tegen de gemeten verdamping E_{wd} van het drainagelysimeterveld (mm per balansperiode) o 1957, berekend met een empirische formule; v 1958-1960, berekend met boekhouding.



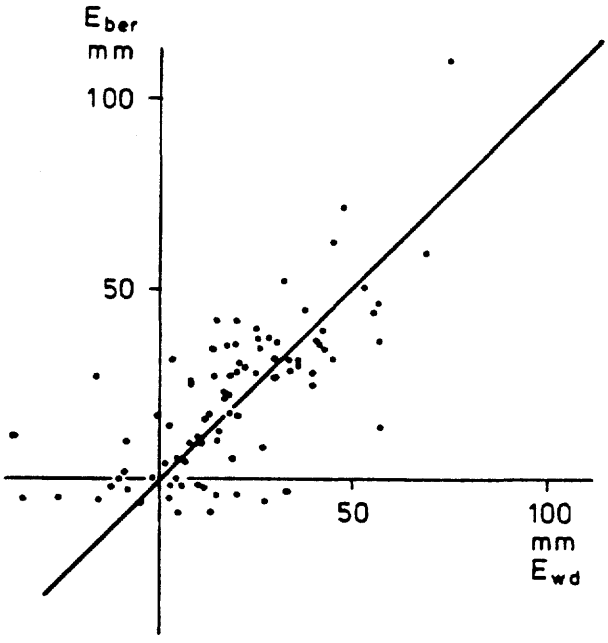
Figuur 7.2. Berekende verdamping E_{rx}, uitgezet tegen de gemeten verdamping E_{wr} van de Rottegatspolder (mm per balansperiode). 1957-1960. o berekend met formule; v berekend met behulp van grafieken; x berekend met boekhouding.



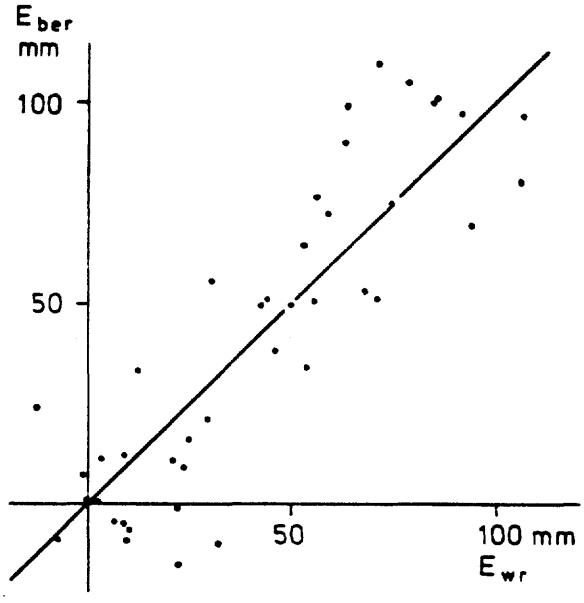
Figuur 7.3. Berekende verandering grondvocht V_o, uitgezet tegen de gemeten verandering grondvocht Vgem (mm per balansperiode) voor het drainage-lysimeterveld, 1961-1964.



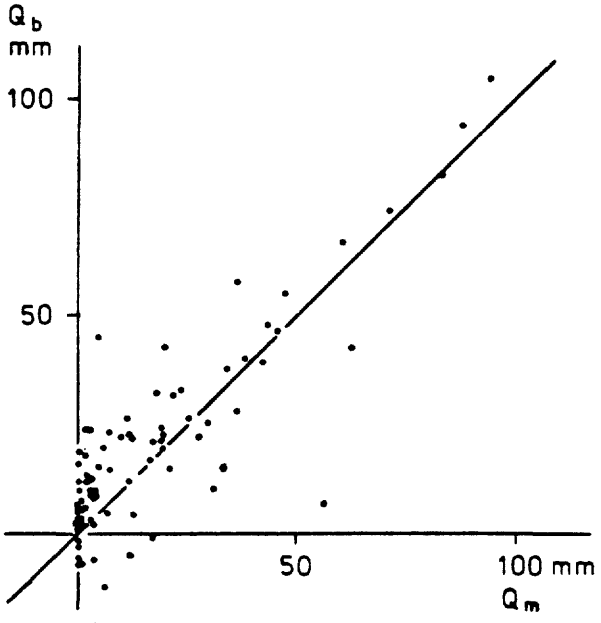
Figuur 7.4. Berekende verandering grondvocht V_o, uitgezet tegen de gemeten verandering grondvocht Vgem (mm per balansperiode) voor de Rottegatspolder, 1961-1964.



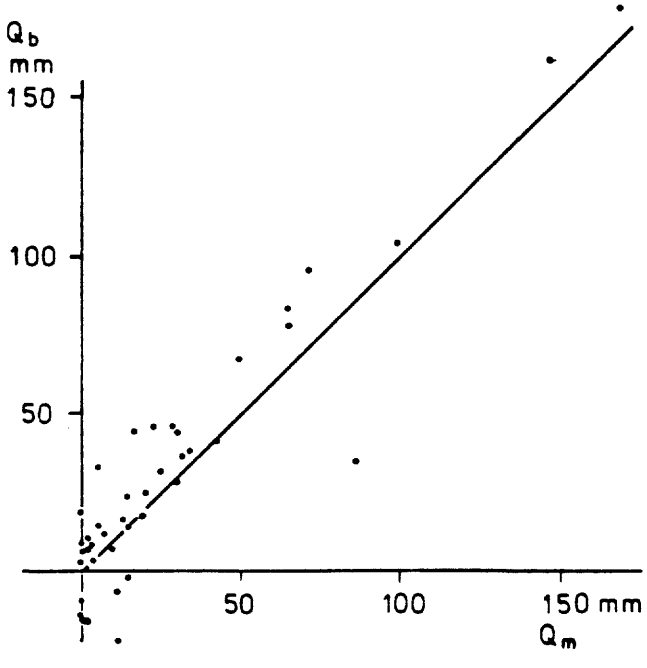
Figuur 7.5. Berekende verdamping E_{ber}, uitgezet tegen de gemeten verdamping E_{wd}, voor het drainage-lysimeterveld, 1961-1964.



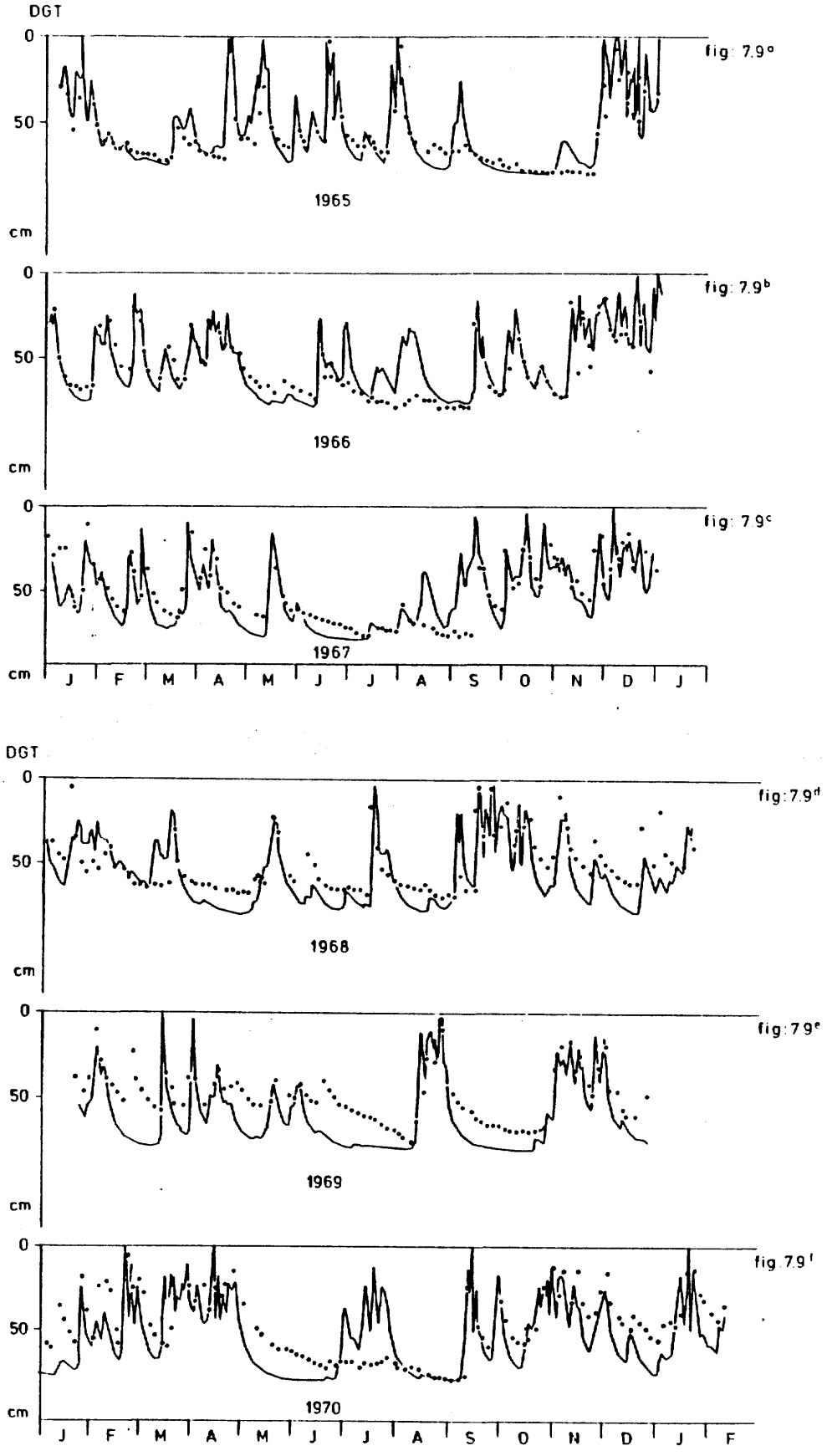
Figuur 7.6. Berekende verdamping E_{ber}, uitgezet tegen de gemeten verdamping E_{wr}, voor de Rottegatspolder, 1961-1964.



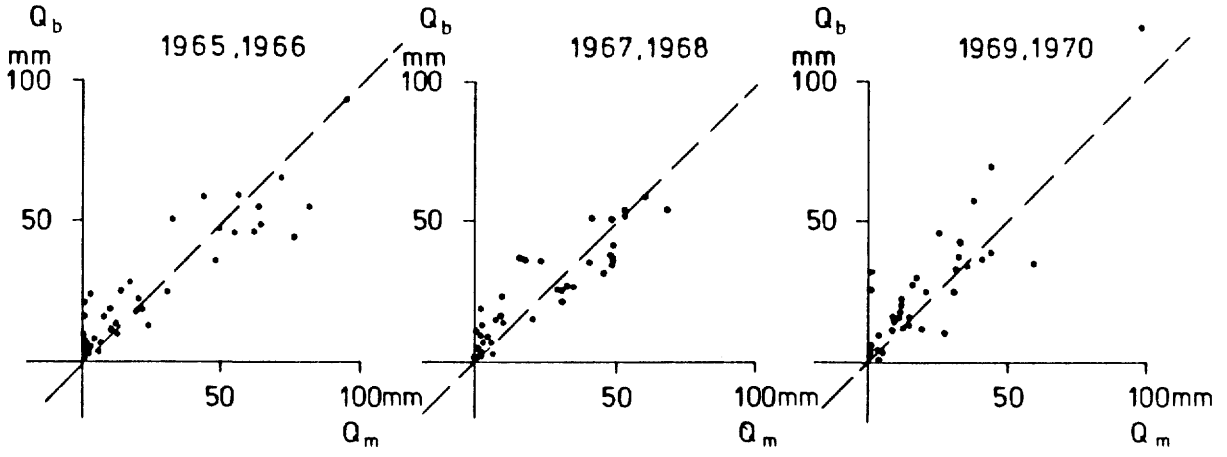
Figuur 7.7. Berekende afvoer Q_b, uitgezet tegen de gemeten afvoer Q_m (mm per balansperiode) voor het drainagelysimeterveld, 1961-1964.



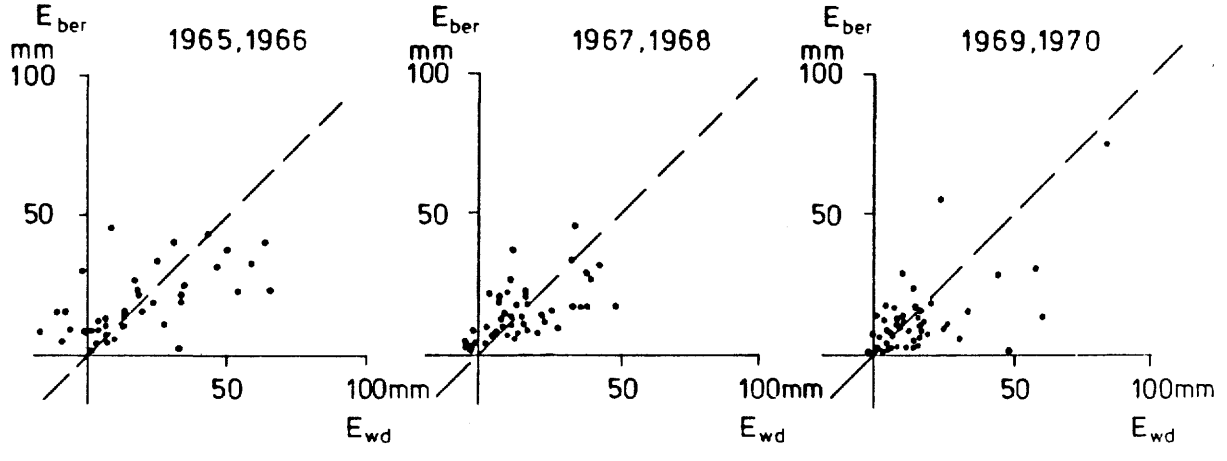
Figuur 7.8. Berekende afvoer Q_b, uitgezet tegen de gemeten afvoer Q_m (mm per balansperiode), voor de Rottegatspolder, 1961-1964.



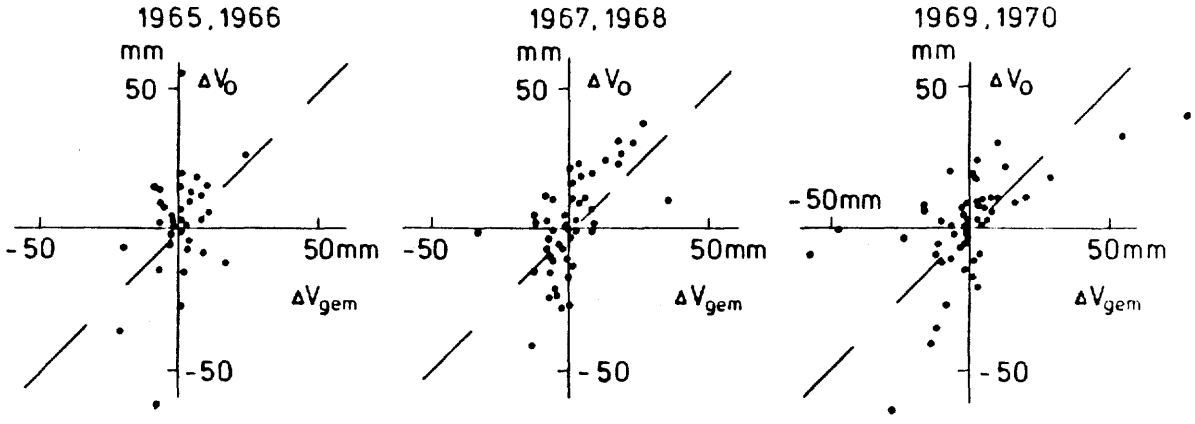
Figuur 7.9. Berekende (—) en gemeten (.) grondwaterstand in het drainage-lysimeterveld, 1965-1970.



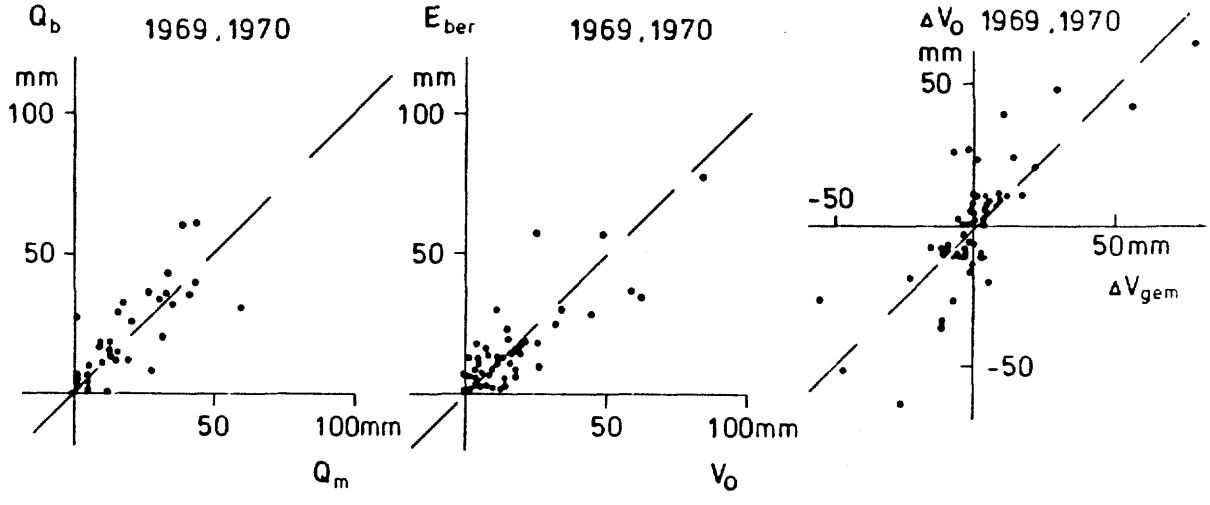
Figuur 7.10. Berekende afvoer Q_b, uitgezet tegen de gemeten afvoer Q_m (mm per balansperiode) voor het drainagelysimeterveld, 1965-1970.



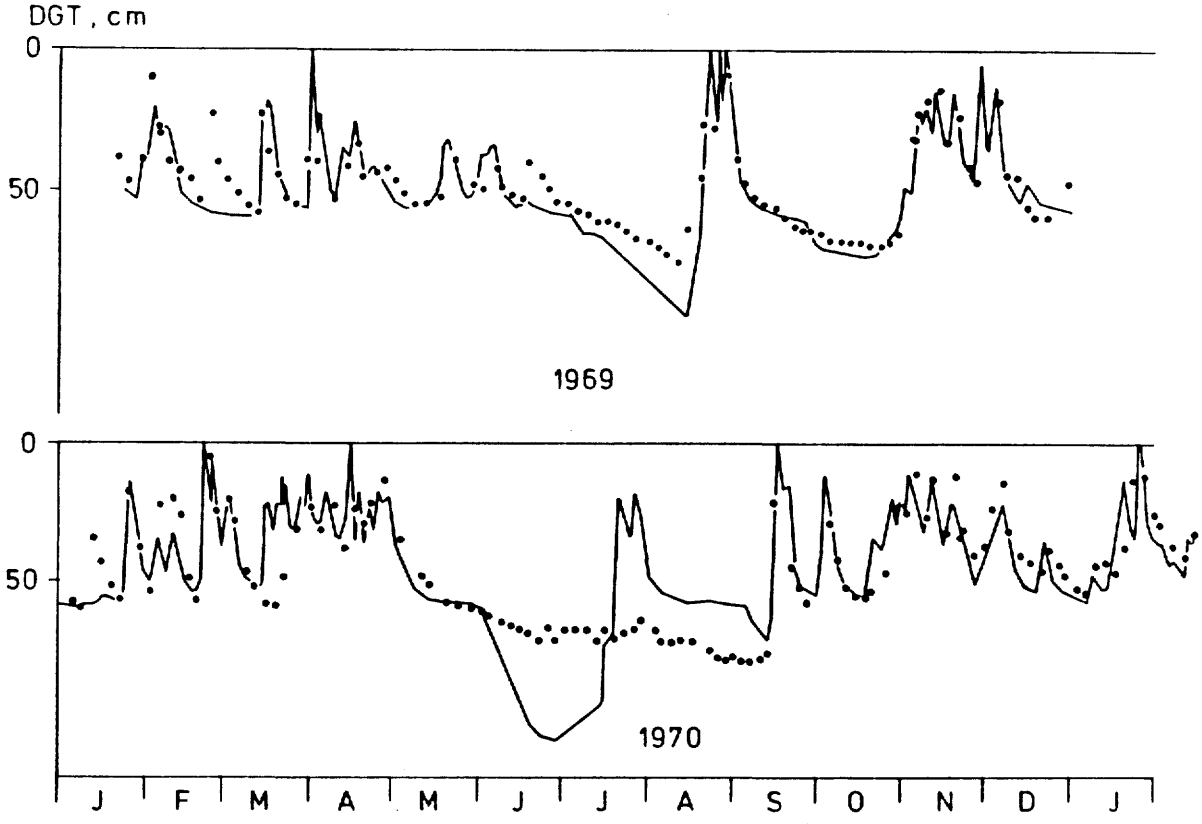
Figuur 7.11. Berekende verdamping E_{ber}, uitgezet tegen de gemeten verdamping E_{wd} (mm per balansperiode), voor het drainagelysimeterveld, 1965-1970.



Figuur 7.12. Berekende verandering grondvocht ΔV_o, uitgezet tegen de gemeten verandering grondvocht ΔV_{gem} (mm per balansperiode) voor het drainagelysimeterveld, 1965-1979.



Figuur 7.13. Berekende afvoer Q_b, verdamping E_{ber}, en verandering grondvocht ΔV_o, berekend met aangepaste pF-kromme, uitgezet tegen hun gemeten waarde voor het drainagelysimeterveld, 1969-1970.



Figuur 7.14. Berekende (—) en gemeten (.) grondwaterstand in het drainagelysimeterveld, berekend met aangepaste pF-kromme, 1969-1970.

HOOFDSTUK 8: SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Hoofdstuk 1
Hoofdstuk 2

Hoofdstuk 2 handelt over het verdampingsonderzoek te Urk van augustus 1943 tot heden.
Het onderzoek heeft plaats gevonden aan drijvende en ingegraven bakken ten einde de kennis omtrent de verdamping van een vrij wateroppervlak te verbeteren.
Over het algemeen is een grotere verdamping gevonden met de drijvende dan met de ingegraven bak. Ook de plaats van de ingegraven bak had invloed op de verdamping. Bij een minder beschutte expositie ten opzichte van de wind werden hogere verdampingswaarden gevonden.
Vergelijking van de verdampingswaarden voor het IJsselmeer, verkregen met behulp van de drijvende bak en die berekend met de Penman formule, gecorrigeerd voor de warmte-inhoud van het meer, over de jaren 1961-1980 toonde aan dat de laatste waarden steeds hoger zijn dan de uit de bak berekende waarden. Het verschil bedroeg gemiddeld 5,6 mm. Er is in de beschouwde periode een duidelijke scheiding aan te wijzen voor de maanden april tot en met juni, respectievelijk over de maanden juli tot en met oktober. De gevonden verschillen bedroegen 8,9 mm, respectievelijk 3,2 mm. Geconcludeerd kan worden dat met de Penmanberekening voor open water, na correctie op de warmte-inhoud van het IJsselmeer, een goede tot aanvaardbare benadering van de verdamping van dit meer kan worden gevonden.
De verdampingsmetingen te Urk kunnen dan ook worden beëindigd.
In het aanhangstel bij dit hoofdstuk wordt tenslotte nog ingegaan op de publicaties, waarin verslag wordt gedaan van het onderzoek naar de waterhuishouding en de energiehuishouding van het Flevomeer, groot 45.000 ha, dat in september 1966 tijdelijk ontstond na sluiting van de dijk rond de polder Zuidelijk Flevoland.

Hoofdstuk 3

In par. 3.1 wordt, uitgaande van de similariteitsrelaties van Monin-Obukhov, de formule voor het verticale damptransport afgeleid. De stabiliteitscorrectie wordt op basis van recent onderzoek herberekend. De nieuwe waarden van deze correctie verschillen weinig van de waarden die bij de berekeningen voor de jaren 1958-1965 zijn gebruikt. De correctie bedraagt gemiddeld +10%. Een nauwkeurige bepaling van de nulvlakverplaatsing is noodzakelijk.
In par. 3.2 wordt een overzicht van het verloop der metingen gegeven. De periode 1947-1953 moet worden gezien als een aanloopperiode waarin ervaring werd opgedaan op instrumenteel gebied. Na installatie van een geheel vernieuwd instrumentarium op het drainage-lysimeterveld werd daar voor in

totaal 47 perioden van ongeveer 1 maand de verdamping volgens de methode van het verticale damptransport bepaald. In par. 3.3 worden de uitkomsten besproken. De methode van het verticale damptransport, zoals toegepast in de Rottegatspolder, geeft uitkomsten die vermoedelijk 10% te laag zijn onder de aanname dat in de verdamping berekend uit de waterbalans van het drainage-lysimeterveld, geen systematische fout zit. De praktische toepasbaarheid van de methode is beperkt gezien de eisen die aan de afmetingen en de homogeniteit van het terrein gesteld worden.

Hoofdstuk 4

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de bepaling van de grootte der verdamping uit de Rottegatspolder volgens de methode van de waterbalans.
Na een inleidende paragraaf over de formule van de waterbalans en de lengte van de balansperioden worden in par. 4.2 de waarnemingen en de waarnemingsresultaten van de verschillende grootheden behandeld. De verdamping is berekend uit de som van de in par. 4.2 behandelde grootheden. Voor de gemiddelde jaarlijkse etmaalverdamping zijn waarden bepaald die liggen tussen de 1,12 en 1,41 mm.
In par. 4.4 worden de resultaten van dit onderzoek nader beschouwd en worden er enkele conclusies getrokken. Tenslotte worden in par. 4.5 een aantal kritische kanttekeningen geplaatst.
Voor dit onderzoek bleek de bepaling van de verandering van het bodemvocht de zwakste schakel in de waterbalans ondanks het feit dat in de loop van het onderzoek is overgegaan op het gebruik van nucleaire apparatuur. Voor een aantal grootheden zijn zowel de waarnemingsmethoden als de waarnemingsresultaten gedurende dit onderzoek sterk verbeterd; een nadeel van die veranderingen is echter dat de betreffende reeksen niet homogeen zijn.

Hoofdstuk 5

Bij de vaststelling van de verdamping als sluitpost van de waterbalans werken alle fouten in de andere termen door in de gevonden verdamping. In hoofdstuk 5 worden twee methoden behandeld die dit bezwaar in principe niet hebben, nl.:

a. de statistische methode. Daarbij wordt de totale hoeveelheid neerslag verdeeld over de andere posten van de waterbalans in afhankelijkheid van grondwaterstand, grondwaterstandsverandering en potentiële verdamping. Het bij deze methode behorend eenduidig verband tussen grondwaterstand en vochtvoorraad in de onverzadigde zone is echter zeer discutabel, vooral bij grondwaterstanden dieper dan 105 cm-mv.
b. de grafische methode. De werkelijke verdamping van een gewas wordt bepaald door de potentiële verdamping en het vochtgehalte in de wortelzone. De bepaling van dit verband vindt plaats via een grafische bewerking van in het veld verzamelde gegevens.

Hoewel beide methoden tot redelijke resultaten kunnen leiden is de statistische methode niet verder toegepast door m.n. het ter beschikking komen van methoden voor het meten van de vochtvoorraad terwijl de grafische methode is achterhaald door de komst van moderne rekenapparatuur.

Hoofdstuk 6

In hoofdstuk 6 worden de resultaten van verdampingsmetingen aan 12 weegbare lysimeters op het lysimeterstation Wageningen gedurende de periode 1952 t/m 1962 besproken. Het grondwaterniveau in de met ongeroerde kleigrond gevulde lysimeters werd per lysimeter constant gehouden en varieerde tussen 0,50 en 1,45 m-mv. Als aanvulling werd de open waterverdamping bepaald met behulp van een verdampingsbak en Pichemeters.
Analyse van de meetresultaten leidde tot de volgende conclusies:

a. Het verschil in grondwaterstand veroorzaakte geen aantoonbaar verschil in verdamping door het erop groeiende kort gehouden gras.
b. De verhouding tussen de gemiddelde verdamping per maand van de kleilysimeters en de bakverdamping gedurende april t/m september varieert van 1,07 tot 0,63. (zie tabel 6.2). De bakverdamping is dus een slechte maat voor de gewasverdamping.
c. De verhouding tussen de gemiddelde verdamping per maand van de kleilysimeters en de gemiddelde open waterverdamping, zoals weergegeven in de maandelijkse overzichten van het KNMI, variëerde tussen 0,65 en 0,77 met een gemiddelde van 0,71. Werden alleen de maanden in beschouwing genomen waarin de gewasverdamping (nagenoeg) potentieel was, dan varieerde de verhouding tussen 0,67 en 0,77 met een gemiddelde van 0,73.
d. Op basis van de gegevens uit bovengenoemd lysimeteronderzoek is een voor de praktijk zeer bruikbare formule opgesteld waarmee de potentiële verdamping van gras werd berekend uitgaande van de gemeten globale straling (de formule van Makkink).
e. De verschillen tussen de verdamping van de kleilysimeters en de verdamping van de lysimeters in de Rottegatspolder bleek sterk gerelateerd aan verschillen in op de lysimeters groeiend gewas. Over het gehele groeiseizoen genomen echter verdampten akkerbouwgewassen gemiddeld evenveel als gras.

Hoofdstuk 7

Van 1952 tot en met 1956 werden de waarnemingen aan de weegbare Wageningse lysimeters in de verslagen opgenomen. Vanaf 1957, toen de lysimeters niet meer in beheer waren bij het IBS, werd de verdamping voor het drainage-lysimeterveld en de Rottegatspolder berekend.
Deze berekening ontwikkelde zich in de periode van 1957 tot

en met 1971 van een primitief gebruik van grafisch gevonden gewasfactoren ter berekening van de verdamping, tot een gedetailleerde digitale simulatie van het gehele proces van het watertransport in de grond, al of niet via gewassen, naar de atmosfeer, waarbij alle termen van de waterbalans werden berekend, alsmede de grondwaterstand. Hierbij werd vanaf het jaar 1961 van een computer gebruik gemaakt. De in die tijd gebruikte computer had echter weinig geheugenruimte en werkte vrij langzaam, zodat het gebruikte computerprogramma nu minder efficiënt lijkt. Toch bleek de uiteindelijk tot stand gekomen simulatie van een continue waterboekhouding bevredigende resultaten op te leveren.

Bijlage

Overzicht van de gebruikte symbolen en afkortingen

In de deelrapporten 1 t/m 19 van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek is voor verschillende begrippen soms eenzelfde symbool gebruikt. Zo is de L bijvoorbeeld gebruikt voor "de stabiliteitslengte van Obukhov"; "geloosd water"; "latente warmte van water" en "gemeten afvoer". Een enkele maal zijn ook voor eenzelfde begrip meer symbolen gebruikt: voor "windsnelheid" werd bijvoorbeeld zowel de letter u als de letter v gebruikt.
De reden hiervan is, dat de diverse hoofdstukken van de deelrapporten door verschillende auteurs resp. diensten werden geleverd, zonder dat bij het gebruik van symbolen en afkortingen in die hoofdstukken werd gelet op onvolkomenheden zoals hierboven beschreven.
Omdat deze vorm van symbolengebruik voor het samenvattende eindrapport van de Werkcommissie ongewenst geacht werd, is in dit rapport het gebruik van de symbolen geheel herzien. Daarbij zijn de aanbevelingen van de "Gespreksgroep Hydrologische Terminologie", zoals deze zijn gedaan in de "Verklarende Hydrologische Woordenlijst" (uitgegeven door de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek van het TNO), zoveel mogelijk opgevolgd.
In de bijgaande lijst wordt een overzicht gegeven van de in dit rapport gebruikte symbolen en van hun omschrijvingen. De symbolen, zoals deze in de deelrapporten 1 t/m 19 zijn gebruikt, zijn (indien zij afwijken van de hier gebruikte) tussen haakjes vermeld.

A	factor voor de wortelontwikkeling en de vochtbeschikbaarheid in de wortelzone
B	factor voor transportcapaciteit van vocht door de plant, de wortelontwikkeling en eigenschappen van de bodem
C_1 t/m C_6	constanten (c, f, f_c, k)
c_a, c_b	correctiefactoren
c_k	de constante van Von Kármán (k)
c_p	de soortelijke warmte van de lucht (C_p)
d	daglengte in uren (D)
E	de flux van waterdamp = de verdamping
e	dampdruk
e..	werkelijke dampdruk van de lucht (...= hoogte)
λE	de flux van latente warmte
E_b	de verdamping berekend uit de waterbalans van het drainage-lysimeterveld
E_{bak}	de gemeten verdamping uit verdampingsbakken te Wageningen
E'_{bak}	verdamping volgens de verdampingsbak, empirisch berekend voor regendagen (B)
E_{ber}	berekende verdamping van het drainage-lysimeterveld
E_d	de verdamping berekend met de methode van het verticale damptransport
$E_{d.l.v.}$	de verdamping van het drainage-lysimeterveld in de Rottegatspolder
E_e	de verdamping berekend met de methode van de energiebalans
E_{lys}	de gewasverdamping door de met gras begroeide kleilysimeters te Wageningen
E_o	de verdamping van open water volgens Penman
$E_{o,DB}$	open water verdamping te De Bilt (E_o)

E_{pan}	verdamping uit een bak
E_{Piche}	verdamping volgens de Piche-meters (P)
E_{rx}	berekende verdamping van de Rottegatspolder
e_s	verzadigingsdampdruk bij de watertemperatuur in de bovenste 5 cm
E_{tp}	potentiële transpiratie van een gesloten kort grasdek (E_p)
E_{wd}	gemeten verdamping van het drainage-lysimeter-veld (V)
E_{wr}	verdamping uit waargenomen waterbalansposten berekend voor de Rottegatspolder (V)
$e(z_1)$, $e(z_2)$	de dampdruk op de hoogten z_1 en z_2
f	gewasfactor (g)
G	de bodemwarmtestroom
g	versnelling van de zwaartekracht
H	voelbare warmtestroomdichtheid
h	drukhoogte
h_o	nulvlakverplaatsing (d)
$h_{4,2}$	hoogte boven het grondwater waar pF 4,2 heerst (h)
I	ingelaten water
K	kwel (positief of negatief)
K_{gem}	gemeten globale straling (R_m)
L	geloosde hoeveelheid water
L_s	de stabiliteitslengte van Obukhov (L)
m	faktor die bepaald wordt door de vorm van de vochtspanningscurve
p	droogdiabatische temperatuurgradiënt
P	neerslaghoogte (R)
PV	poriënvolume

Q^*	de netto straling
Q_b	berekende afvoer (A)
Q_m	gemeten afvoer (L)
q_s	de specifieke vochtigheid (q)
R_i	getal van Richardson
S	toename van de maximale dampspanning per graad C, bij de heersende gemiddelde etmaaltemperatuur van 8.00 tot 8.00 uur op 2 m hoogte
T	de absolute temperatuur
V	de verdamping berekend uit de waterbalans van de polder
v	de windsnelheid (u)
v_*	de wrijvingssnelheid (u_*)
VG	volumegewicht van de bodem
ΔV_g	vermeerdering of vermindering van het aanwezige grondvocht, uitgaande van de toestand aan het begin van de beschouwde balansperiode (G)
ΔV_{gem}	gemeten grondvochtverandering (ΔG)
V_o^m	gemiddeld vochtgehalte (V^m)
V_o	vochtgehalte in de wortelzone (V')
V_o	vochttoestand van de bodem (V)
ΔV_o	berekende verandering in het bodemvocht (ΔV)
ΔV_s	vermeerdering of vermindering van het in sloten en plassen aanwezige water, uitgaande van de toestand aan het begin van de balansperiode (S)
V_u	de uursom der verdamping (V)
v_z	capillair transport (C)
W_r	de werkelijke hoeveelheid bodemvocht van de wortelzone aan het begin van de rekenperiode
W_v	bij de veldcapaciteit beschikbare hoeveelheid water in de wortelzone

z	de verticale coördinaat
β	de Bowen-verhouding
γ	psychrometerconstante
Θ	de potentiële temperatuur
$\Theta(z)$	de potentiële temperatuur op hoogte z
λ	de verdampingswarmte
λE	de flux van latente warmte
ρ	de dichtheid van de lucht
ρ_b	soortelijk gewicht van de grond (SG)
ϕ_{sh}	de stabiliteitsfunctie voor warmtetransport
ϕ_{sm}	de stabiliteitsfunctie voor impulstransport
ϕ_{sv}	de stabiliteitsfunctie voor waterdamptransport

Nawoord

Ten aanzien van het verdampingsonderzoek in Nederland, dat in de periode 1942...1971 werd uitgevoerd, zijn enkele algemene opmerkingen te maken die zinvol kunnen zijn bij het opzetten van langlopende onderzoeken.

- Alvorens een onderzoek te beginnen moet de doelstelling duidelijk zijn en dient deze tijdens de studie regelmatig getoetst te worden.
- Met name langlopend onderzoek vereist uiterste zorg aan opzet, een blijvende begeleiding en geregelde rapportage.
- Het verrichten van metingen is geen eenvoudige zaak, het verkrijgen van homogene en betrouwbare reeksen is nog moeilijker.
- Het veranderen van meetapparatuur dient zoveel mogelijk voorkomen te worden. Tijdens dit onderzoek is er een sterke ontwikkeling geweest in meetapparatuur en is deze apparatuur aanzienlijk verbeterd.
- Wijzigingen in meetmethoden en meetlocaties dienen zoveel mogelijk vermeden te worden.
- Wanneer verandering in meetmethode, verandering van meetlocatie of meetapparatuur noodzakelijk is, dan is een ruime overlap (van ettelijke jaren) volstrekt noodzakelijk om homogene meetreeksen te waarborgen. Bij het opzetten van een onderzoek dient hiermee rekening gehouden te worden.
- De balansperioden voor de verschillende berekeningsmethoden moeten op elkaar afgestemd zijn om vergelijking van deze methoden mogelijk te maken.
- Tijdens het onderzoek dienen de balansperioden zo mogelijk niet gewijzigd te worden.

Literatuur

- Verslagen inzake verdampingsonderzoek, nrs. 1 t/m 19.
  Werkcommissie voor het verdampingsonderzoek.

- Verslagen en mededelingen:
  no. 1: Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 1-6, 1952.
  no. 2: Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 7-10 en Verslag inzake het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder over de jaren 1947-1952; 1955.
  no. 3: Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 11-12 en Rapport inzake de lysimeters in Nederland, 1958.
  no. 4: Verdampingssymposium Agrohydrologisch Colloquium C.O.L.N. en
  Rapport inzake de lysimeters in Nederland II, 1959.
  no. 14: Regenwaarnemingscijfers II en
  Rapport inzake de lysimeters in Nederland III, 1968.
  Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O.

SUMMARY, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Chapter 2

Chapter 2 deals with the evaporation studies at Urk from August 1943 up to the present.
The investigation was carried out in floating and sunk tanks to improve the knowledge about the evaporation from a free water surface.
In general, evaporation was found to be greater from the floating than from the sunk tank. Also the location of the sunk tank affected the evaporation. Higher evaporation values were found when the tanks were more exposed to the wind.
Comparison of the evaporation values for the IJsselmeer, obtained by means of the floating tank with those calculated with the Penman formula for the years 1961-1980, corrected for the heat content of the lake, showed that the latter values were invariably higher than those calculated from the tank. The difference was on an average 5.6 mm.
The period under review showed a distinct difference between the months April to June inclusive, and the months July to October inclusive. The differences found were 8.9 mm and 3.2, respectively. The conclusion is justified that the Penman calculation for free water gives a satisfactory to acceptable approximation of the evaporation from this lake after correction for the heat content of the IJsselmeer.
The evaporation measurements at Urk can therefore be terminated.
Finally, the appendix to this chapter discusses publications which report on the investigation into the water management and the energy management of Lake Flevo, area 460 km^2, which was formed temporarily in September 1966 after closure of the dam round the present polder Southern Flevoland.

Chapter 3

Starting from the similarity relations of Monin-Obukhov, the formula for the vertical vapour transport is derived in par. 3.1. The stability correction is recalculated on the basis of a recent investigation. The new values for this correction show little differences from the values used in the calculations for the years 1958-1965. The correction is on an average +10%. An accurate determination of the reference datum is necessary.
Par. 3.2 gives a survey of the development of the measurements. The period 1947-1953 is to be regarded as a starting-up period in which experience was gained with the instrumentation. After the installation

of a completely new set of instruments in the drainage-lysimeter field, the evapotranspiration was determined according to the method of vertical transport for a total of 47 periods of about one month each.
The results are discussed in par. 3.3. The method of vertical vapour transport, as applied in the Rottegatspolder, gives results which are probably 10% low, assuming the absence of a systematic error in the evapotranspiration calculated from the water balance of the drainage-lysimeter field. The practical applicability of the method is limited, because of the requirements to be placed on the dimensions and the homogeneity of the area.

Chapter 4

Chapter 4 describes the determination of the value of the evapotranspiration from the Rottegatspolder according to the water balance method.
After an introductory paragraph on the formula of the water balance and the lengths of the balance periods, par. 4.2 deals with the observations and the determination of the various components. The evapotranspiration has been calculated from the sum of the components discussed in par. 4.2.
Values determined for the average annual diurnal evapotranspiration lie between 1.12 and 1.41 mm.
Par. 4.4 devotes a detailed discussion to the results of this investigation, after which some conclusions are drawn.
Finally, some critical notes are given in par. 4.5.
For this investigation the determination of the change in soil moisture was found to be the weakest link in the water balance, in spite of the fact that during the course of the investigation a change-over was made to nuclear instruments. For a number of components both the observation methods and the observation results during this investigation were greatly improved; a drawback of these changes, however, is that the series in question are not homogeneous.

Chapter 5

When determining the evapotranspiration as component of the water balance all the errors in the other terms affect the evapotranspiration found. Chapter 5 deals with two methods which are essentially free from this drawback, viz.:

(a) the statistical method. The total quantity of precipitation is distributed over the other components of the water balance in dependence on the ground water level, change in ground water level and potential evapotranspiration. However, in this method the assumed fixed relation between ground water level and moisture content of the unsaturated zone is highly questionable, particularly at ground water levels deeper than 105 cm minus ground level;
(b) the graphical method. The actual evapotranspiration of a crop is determined by the potential evapotranspiration and the moisture content in the root zone. This relationship is determined via a graphical treatment of field data.

Although both methods may give reasonable results, the statistical method has nog been further applied, particularly because methods for measuring the moisture content have become available, while the graphical method has been rendered out of date by the advent of modern calculating instruments.

Chapter 6

In chapter 6 the results are discussed of evapotranspiration measurements on 12 weighable lysimeters at the lysimeter station Wageningen in the period 1952-1962. The ground water level in the lysimeters filled with non-stirred clay soil was kept constant per lysimeter and varied between 0.50 and 1.45 m minus ground level. In addition, the open water evaporation was determined by means of an evaporation tank and Pichemeters.
Analysis of the measured values led to the following conclusions:
(a) the difference in ground water level did not cause a detectable difference in evapotranspiration by the grass growing on it, which was kept short;
(b) the ratio between the average monthly evapotranspiration of the clay lysimeters and the tank evaporation during April-September varied from 1.07 to 0.63 (see table 6.2). The tank evaporation is therefore a poor measure of the crop evapotranspiration
(c) the ratio between the average monthly evapotranspiration of the clay lysimeters and the average open water evaporation, derived from the monthly survey of the KNMI, varied between 0.65 and 0.77 with an average of 0.71.
If only those months were taken in which the crop evapotranspiration was - almost - potential, the ratio varied between 0.67 and 0.77 with an average of 0.73;

(d) on the basis of the data from the above lysimeter investigation a formula, very useful for field conditions, has been developed with which the potential evapotranspiration of grass was calculated by starting from the measured average radiation (formula of Makkink);

(e) the differences between the evapotranspiration of the clay lysimeters and the evapotranspiration of the lysimeters in the Rottegatspolder were found to be strongly related to differences in crop growing on the lysimeters.
When taking the entire growth season into consideration, however, agricultural crops showed the same average evapotranspiration as grass.

Chapter 7

From 1952 to 1956 inclusive, the observations on the weighable lysimeters at Wageningen were included in the reports. From 1957 onwards, when the lysimeters were no longer under control of the IBS, the evapotranspiration for the drainage lysimeter field and the Rottegatspolder were calculated.
In the period 1957-1971 this calculation method developed from a primitive use of graphically determined crop factors to calculate evapotranspiration, to a detailed digitial simulation of the entire process of water transport in the soil, via crops of otherwise, to the atmosphere, all the terms of the water balance, including the ground water level being calculated.
As from 1961 a computer was used for this purpose. The computer used in that period, however, only had a limited memory capacity and operated rather slowly, so that the computer programme used now seems less efficient. Still, the simulation of a continuous water budget ultimately arrived at appeared to give satisfactory results.

Concluding remarks

With regard to the evapotranspiration investigation in the Netherlands carried out in the period 1942-1971, some general observations can be made which may be useful for designing long-term investigations.

- Before starting an investigation the objective should be clear and is to be regularly checked during the study.
- A long-term investigation in particular calls for great care in design, permanent consultation and regular reporting.

- Carrying out measurements is not a simple job, but obtaining homogeneous and reliable data series is even more difficult.
- Changing measuring instruments is to be avoided as much as possible. During this investigation there has been a marked development in measuring instruments, which have been considerably improved.
- Changes in measuring methods and measuring locations are to be avoided as much as possible.
- Whenever a change in measuring methods, measuring location or measuring instruments is necessary, a large overlap (some years) is essential to ensure homogeneous test results. The study project should account for this condition.
- The baalnce periods for the various methods of calculation should be attuned to each other to permit comparison of these methods.
- During the investigation the balance periods should not be changed if possible.