COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO. 3

VERSLAGEN TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN 11 EN 12

EN

RAPPORT INZAKE DE LYSIMETERS IN NEDERLAND

(in de Engelse taal)

NEDERLANDSE CENTRALE ORGANISATIE VOOR
TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

VERSL. MEDED. COMM. HYDROL. ONDERZ. T.N.O. No. 3 - 'S-GRAVENHAGE - 1958

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO. 3

VERSLAGEN TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN 11 EN 12

EN

RAPPORT INZAKE DE LYSIMETERS IN NEDERLAND

(in de Engelse taal)

NEDERLANDSE CENTRALE ORGANISATIE VOOR
TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

VERSL. MEDED. COMM. HYDROL. ONDERZ. T.N.O. No. 3 - 'S-GRAVENHAGE - 1958

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO. 3

VERSLAGEN TECHNISCHE BIJEENKOMSTEN 11 EN 12

EN

RAPPORT INZAKE DE LYSIMETERS IN NEDERLAND

(in de Engelse taal)

NEDERLANDSE CENTRALE ORGANISATIE VOOR
TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

VERSL. MEDED. COMM. HYDROL. ONDERZ. T.N.O. No. 3 - 'S-GRAVENHAGE - 1958

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

PROCEEDINGS AND INFORMATIONS NO. 3

PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL MEETINGS 11 AND 12

AND

REPORT ON THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS

(IN ENGLISH)

With summaries in English

THE NETHERLANDS CENTRAL NATIONAL COUNCIL FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH

SECTION T.N.O. DES RECHERCHES HYDROLOGIQUES

COMPTES-RENDUS ET COMMUNICATIONS NO. 3

COMPTES-RENDUS DES SESSIONS TECHNIQUES 11 ET 12

ET

RAPPORT CONCERNANT LES LYSIMÈTRES AUX PAYS-BAS

(EN ANGLAIS)

Avec des résumés en français

ORGANISATION CENTRALE NÉERLANDAISE POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE APPLIQUÉE

STAATSDRUKKERIJ- UITGEVERIJBEDRIJF

1958

INHOUD

Blz.

WOORD VOORAF 9

Elfde Technische Bijeenkomst op 22 maart 1955

I. WATERVOORZIENING VAN ZANDGRONDEN 11

1. De waterbalans van hoge zandgronden, J. H. M. LATOUR en D. W. STOLP 13
2. De invloed van grondwateronttrekking ten behoeve van kunstmatige beregening van zandgronden op de stijghoogte van het grondwater, B. A. VAN NES 41
3. Verhoging van grondwaterstanden en vermindering van afvoer door opstuwing van beken, L. F. ERNST 52
4. Grondwaterpeilregeling of kunstmatige beregening, W. C. VISSER. . . . 71
5. Slotbeschouwingen, C. VAN DEN BERG 94

Twaalfde Technische Bijeenkomst op 30 mei 1956

II. KWALITEITSEISEN VOOR OPPERVLAKTEWATER 97

1. Inleiding, C. BIEMOND 99
2. Verontreiniging door organische stoffen, J. J. HOPMANS 101
3. Bacteriologische verontreiniging, N. D. R. SCHAAFSMA 113
4. Plankton, G. P. H. VAN HEUSDEN 122
   Discussie naar aanleiding van de voordrachten 2, 3 en 4 132
5. Zoutgehalte, C. VAN DEN BERG 136
   Discussie naar aanleiding van voordracht 5 143
6. Radioactiviteit, F. W. J. VAN HAAREN. 146
7. Risico's, L. HUISMAN. 154
8. Slotbeschouwingen en conclusies, C. BIEMOND 162

III. THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS by R. WIND HZN. (†). 165

CONTENTS, PREFACE AND SUMMARIES. 229

TABLE DES MATIÈRES, AVANT-PROPOS ET RÉSUMÉS 245

FUNCTIES VAN DE INLEIDERS TEN TIJDE VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMST

Dr. ir. C. VAN DEN BERG	Directeur van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding i.o., Wageningen.
Ir. C. BIEMOND	Directeur van de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, Amsterdam.
Drs. F. W. J. VAN HAAREN	Chef van het Laboratorium der Gemeentewaterleidingen van Amsterdam.
Dr. G. P. H. VAN HEUSDEN	Bioloog bij de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, Loenen aan de Vecht.
Ir. J. J. HOPMANS	Hoofdingenieur bij het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, 's-Gravenhage.
Ir. L. HUISMAN	Hoofdingenieur bij de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, Amsterdam.
Drs. L. F. ERNST	Wetenschappelijk ambtenaar, Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen.
Ir. J. H. M. LATOUR	Hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in de Directie Algemene Dienst, 's-Gravenhage.
Ir. B. A. VAN NES	Hoofdingenieur bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
Dr. ir. N. D. R. SCHAAFSMA	Wetenschappelijk Hoofdambtenaar, Pharmaceutische Hoofdinspectie van de Volksgezondheid, 's-Gravenhage.
Ir. D. W. STOLP	Wetenschappelijk ambtenaar 1e kl., Afdeling Tuinbouw van het Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, Wageningen.
Ir. W. C. VISSER	Hoofd van de Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
Dr. R. WIND HZN. (†)	Onderzoeker bij de Werkgroep Lysimeters van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's-Gravenhage.

WOORD VOORAF

Vaak en veel hoort men klagen over de versplintering van wetenschap en techniek.

Inderdaad, het is onmiskenbaar en ook onvermijdelijk, dat verdere groei in het onmetelijke veld van het huidige kennen en kunnen slechts mogelijk is door specialisering.

Die specialisatie uit zich ook in de gerichtheid van het wetenschappelijk onderzoek in verschillende belangensferen.

En toch, deze tot gemeenplaats verworden klacht klopt al sinds lang niet meer met de werkelijkheid: geen specialist kan zich meer veroorloven, zonder contact met andere specialisten op verwante gebieden te werken; geen speciaal belang kan in onze ingewikkelde samenleving uiteindelijk worden gediend zonder dat met andere belangen rekening wordt gehouden.

Men kan vaststellen dat het groepswerk voor de beoefenaars van het natuurwetenschappelijk onderzoek regel is geworden en dat tussen instellingen op dit gebied in vele sectoren der samenleving verband werd gelegd en wordt onderhouden.

T.N.O., de Nederlandse Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, die in 1957 haar zilveren feest vierde, is het tastbare bewijs van deze ontwikkeling.

En binnen T.N.O. tracht de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek het adagium „werkt samen" te verwezenlijken.

De naam „Commissie" kan misleidend werken: een eigenlijke opdracht heeft de commissie niet; zij is een vrijwillige groepering – onder de schutse van T.N.O. – van vrijwel alle instellingen die hier te lande hydrologisch onderzoek verrichten. Onder hydrologie wordt hierbij in de ruimste zin verstaan de studie van het water in zijn verschillende natuurlijke kringlopen, met name voor ons land het water in de atmosfeer, de rivieren, de meren en de bodem.

En wat de belangensferen betreft gaat het om de beheersing van het water naar hoeveelheid en hoedanigheid ten behoeve van het gebruik voor bevolking, landbouw en industrie, maar ook om de beheersing van het peil van het oppervlaktewater en de regeling van de grondwaterstand.

De samenwerking in dit commissoriale verband vervangt de centralisatie in een enkel instituut die, gezien de uitgebreidheid der materie en het uiteenlopen der belangen, niet te verwezenlijken zou zijn. Zij geeft echter de mogelijkheid om de verschillende programma's van onderzoek te coördineren en nieuwe onderzoekingen aan te vatten, waarvoor dan speciale werkgroepen worden ingesteld.

Van beide soorten van activiteit der commissie getuigt dit boekwerk, het derde in een reeks: het brengt verslag uit over twee technische bijeenkomsten waarin een bepaald onderdeel der hydrologie werd afgetast, en het geeft het resultaat weer van wat tot dusver de „Werkgroep Lysimeters" presteerde.

Een woord van lof aan de bewerker, Dr. R. WIND Hzn., mag hier niet ontbreken. Helaas moet dit tevens een woord van herdenking zijn: Op 6 maart 1958 is deze kundige, toegewijde medewerker na een langdurige ziekte overleden. Zijn nagedachtenis zal bij T.N.O. geëerd blijven.

's-Gravenhage, april 1958

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

Prof. W. F. J. M. KRUL

Elfde Technische Bijeenkomst

op 22 maart 1955

I. WATERVOORZIENING VAN ZANDGRONDEN

I. DE WATERBALANS VAN HOGE ZANDGRONDEN

J. H. M. LATOUR

Rijkswaterstaat, Directie Algemene Dienst

en

D. W. STOLP

Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, Afdeling Tuinbouw

1. Inleiding (J. H. M. Latour)

Indien een volledige waterbalans voor een bepaald stroomgebied over een zeker tijdvak moet worden opgesteld, zullen zeer gedetailleerde gegevens ter beschikking moeten staan met betrekking tot de watertoevoer en de waterafvoer naar en van het beschouwde gebied, zowel ondergronds (grondwaterstroming en -berging) als langs de oppervlakte (beekafvoeren) en via de atmosfeer (neerslag en verdamping).

Daar op dit ogenblik voor geen enkel stroomgebied deze gegevens volledig en bovendien over een redelijk lange termijn ter beschikking staan, wordt in de volgende beschouwing in hoofdzaak alleen aandacht besteed aan de neerslag, de beekafvoeren en het watergebruik door de gewassen (evapotranspiratie), welke elementen een rol spelen in de vereenvoudigde waterbalans van de volgende gedaante: neerslag = verbruik + beekafvoer.

Voor perioden van gelijke duur is enerzijds het waterverbruik bepaald als verschil tussen de gemeten neerslag en de gemeten beekafvoeren (2), anderzijds is de beekafvoer vastgesteld als verschil tussen de neerslag en het berekende waterverbruik (3).

Volledigheidshalve zijn nog enkele gegevens met betrekking tot de hoogteligging van de grondwaterspiegel opgenomen (4).

De beschikbare gegevens zijn bewerkt over de zesjarige periode 1948–1953 voor de volgende stroomgebieden (zie fig. 1 *):

a. de stroomgebieden van de Spikkersbeek (2800 ha) en de Middensloot (3300 ha), welke een onderdeel vormen van het in de provincie Overijssel gelegen stroomgebied van de Regge;

b. de stroomgebieden van de Kleine Beerze (5400 ha) en de Groote Beerze (10900 ha), welke behoren tot het stroomgebied van de Dommel (provincie Noord-Brabant) en ongeveer 15 km ten westen van Eindhoven gelegen zijn;

c. de stroomgebieden van de Groote Aa (10600 ha) en de Sterkselsche Aa (8500 ha), eveneens behorende tot het Dommelgebied en welke gelegen zijn ten zuidoosten van Eindhoven;

d. het stroomgebied van de Mark (33000 ha), gelegen in de provincie Noord-Brabant ten zuiden van Breda.

Bij de keuze der gebieden is zowel gestreefd naar enige territoriale spreiding als naar enige afwisseling in de grootte der gebieden.

---

* De figuren zijn geplaatst aan het slot van het verslag.

In figuur 2 wordt voor het stroomgebied van de Groote en de Kleine Beerze een indruk gegeven van de verschillende soorten waarnemingspunten, het verloop van de hoogtelijnen e.d.

Voor de verschillende stroomgebieden geven de figuren 3 en 4 een overzicht van de grootte der gebieden, van de hoogteligging van het maaiveld ten opzichte van het N.A.P. en van de helling van het terrein.

Uit deze figuren blijkt, dat de stroomgebieden Spikkersbeek en Middensloot, vergeleken met de overige gebieden, betrekkelijk klein van omvang en betrekkelijk sterk hellend zijn.

Deze beekjes zijn bovendien sterker genormaliseerd dan de andere beken.

2. De waterbalans op basis van neerslag en afvoer (J. H. M. Latour)

Voor de afvoer wordt over het algemeen beschikt over een „winter"-afvoerkromme, welke het verband weergeeft tussen de beekafvoer en de waterstand, welke in een schoon beekprofiel optreedt.

Bij het berekenen van de afvoeren zijn echter moeilijkheden ondervonden ten gevolge van het voorkomen van begroeiing op de beekbodem. Vooral in de Spikkersbeek en de Middensloot treedt dit verschijnsel in sterke mate op. De peilschaalwaarnemers hebben er telkens melding van gemaakt als de beek geschoond werd. Waterstandsdalingen van 20 cm, 30 cm en soms meer zijn geconstateerd bij het verwijderen van de bodembegroeiing uit de beek. In sommige gevallen zijn voor zomerperioden enkele gegevens ter beschikking met betrekking tot het verband tussen de afvoer van en de waterstand in beken, waarin bodembegroeiing optreedt. Voor een juiste interpretatie van deze gegevens ontbreekt echter een goed overzicht van de stand van de bodembegroeiing in de verschillende maanden of weken van het groeiseizoen. Het komt het meest praktisch voor op weloverwogen wijze de zomerwaterstanden schattenderwijze te reduceren tot winterwaterstanden (zie fig. 5). In hoeverre na deze handelwijze de berekende afvoer overeenstemt met de werkelijke afvoer is voor discussie vatbaar. Gemeend wordt echter, dat aan de verkregen afvoergegevens het predikaat „bruikbaar" kan worden toegekend. Voor de overige drie stroomgebieden speelt een vrij geringe bodembegroeiing een rol. Wegens gebrek aan voldoende gegevens kan echter geen reduktie van zomerwaterstanden plaatsvinden. Het is derhalve niet uitgesloten, dat onder gebruikmaking van de ter beschikking zijnde „winter"-afvoerkromme een te hoge afvoer berekend is geworden.

Voor de genoemde stroomgebieden zijn voorts over de periode 1948–1953 de dagelijkse regencijfers (N in mm) verzameld (K.N.M.I.-stations, gelegen in en om het stroomgebied) en bewerkt.

De per kalenderjaar voor de afvoer (= Q) en de neerslag (= N) berekende waarden en die voor het hieruit afgeleide waterverbruik (= N-Q) zijn samengevat in tabel 1. Het 6-jarig gemiddelde is tevens vermeld alsmede de standaardafwijking hierin. Bij de berekening van N-Q zijn de wijzigingen per kalenderjaar in de waterberging in de bodem niet in rekening gebracht (zie ook 4) hetgeen dus betekent, dat deze in afwijking van de werkelijke situatie gelijk aan nul zijn gesteld. Daar de storende invloed van deze

TABEL 1. Neerslag (N), beekafvoer (Q) en waterverbruik (N-Q) per kalenderjaar, over de periode 1948–1953. Hoeveelheden in mm. S = Standaardafwijking.

Jaar	Spikkersbeek en Middensloot			Groote Beerze en Kleine Beerze			Sterkselsche Aa en en Groote Aa			Mark		
	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q
1948	719	512	207	778	251	517	689	204	485	737	199	538
1949	688	256	432	557	135	422	572	103	469	583	133	450
1950	830	526	304	891	233	658	783	173	610	940	219	721
1951	913	442	471	799	288	511	837	298	539	835	288	547
1952	772	424	438	792	263	529	791	241	550	884	282	602
1953	611	351	260	542	242	300	491	159	332	575	157	418
Gem.	755	419	336	727	235	492	695	197	498	759	213	546
S	43,7	41,6	41,2	58,3	21,5	49,1	55,0	27,7	38,9	62,1	25,9	44,5
S in %	5,5	10,0	12,3	7,9	9,2	10,0	7,9	14,1	7,8	8,3	12,2	8,1

noodzakelijkerwijze gemaakte veronderstelling uit de aard der zaak op de gemiddelden over 6 jaren slechts in sterk gereduceerde mate tot uitdrukking zal komen, wordt in het volgende in hoofdzaak aandacht besteed aan de gemiddelden over de perioden 1948–1953 en wel per jaar, per halfjaar, per kwartaal en per maand (zie tabel 2 en figuur 6).

TABEL 2. (zie ook figuur 6). Neerslag (N), beekafvoer (Q) en waterverbruik (N-Q) gemiddeld per maand, per kwartaal en per jaar over de periode 1948–1953. Hoeveelheden in mm.

Tijdvak	Spikkersbeek en Middensloot			Groote Beerze en Kleine Beerze			Sterkselsche Aa en Groote Aa			Mark		
	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q	N	Q	N-Q
Januari . . .	67	60	7	70	38	32	62	33	29	69	47	22
Februari. . .	60	55	5	53	34	19	50	31	19	57	39	18
Maart. . . .	40	35	5	38	23	15	37	21	16	38	20	18
April	52	36	16	57	24	33	49	18	31	59	13	46
Mei.	46	22	24	46	18	28	50	12	38	60	10	50
Juni.	76	14	62	60	10	50	59	8	51	68	6	62
Juli	105	33	72	73	11	62	81	10	71	73	9	64
Augustus . .	84	29	55	92	11	81	78	11	67	94	9	85
September . .	52	24	28	61	12	49	62	9	53	61	6	55
Oktober . . .	32	23	9	35	10	25	31	7	24	40	6	34
November . .	77	39	38	71	18	53	72	15	57	74	20	54
December . .	64	49	15	71	26	45	64	22	42	66	28	38
1e kwartaal. .	167	150	17	161	95	66	149	85	64	164	106	58
2e kwartaal. .	174	72	102	163	52	111	158	38	120	187	29	158
3e kwartaal. .	241	86	155	226	34	192	221	30	191	228	24	204
4e kwartaal. .	173	111	62	177	54	123	167	44	123	180	54	126
Winterseizoen	340	261	79	338	149	189	316	129	187	344	160	184
Zomerseizoen.	415	158	257	389	86	303	379	68	311	415	53	362
Jaar.	755	419	336	727	235	492	695	197	498	759	213	546

Worden de gemiddelde jaargegevens beschouwd, dan wordt een beeld verkregen van de variaties in de verschillende grootheden voor de vier stroomgebieden, waarbij het opvalt, dat in het stroomgebied van de Spikkersbeek en Middensloot een naar verhouding aanzienlijk hogere afvoer optreedt dan in de overige drie stroomgebieden. Deze hogere afvoer kan wellicht verklaard worden uit het feit, dat het gebied van de Spikkersbeek c.a. kleiner van omvang is dan dat van elk van de overige beken en dat het terrein sterker helt dan bij de andere gebieden het geval is (zie de figuren 3 en 4). Bovendien is de Spikkersbeek c.a. het sterkst genormaliseerd. Dat water uit naastliggende stroomgebieden via de Spikkersbeek c.a. tot afvloeiing komt is niet aannemelijk, gezien het feit, dat uit alle betrokken afvoerkrommen blijkt, dat de afvoeren per oppervlakte- en per tijdseenheid onder gelijke omstandigheden van eenzelfde orde van grootte zijn. Dat elk van de andere stroomgebieden in betekenende mate ondergronds water afstaat aan de omgeving moet uitgesloten worden geacht. Gezien de vrij sterke reduktie, welke toegepast is op de waterstanden in de Spikkersbeek in verband met de bodembegroeiing, moet het uitgesloten worden geacht, dat de invloed van de bodembegroeiing op de waterstand zodanig onderschat is, dat hierdoor het aanzienlijke verschil tussen de afvoer van de Spikkersbeek c.a. en de overige beken is ontstaan. Deze mogelijkheid verliest voorts nog aan betekenis, daar in de in de provincie Noord-Brabant gelegen stroomgebieden eveneens bodembegroeiing voorkomt, zij het in een aanzienlijk mindere mate. Met de mogelijke invloed hiervan op de waterstand is geen rekening gehouden in verband met het ontbreken van voldoende gegevens, zodat de voor deze gebieden berekende afvoeren wellicht enigszins aan de hoge kant zouden kunnen zijn. De verhouding tussen de voor de verschillende beken berekende afvoeren zal hierdoor dus ook niet verstoord zijn.

Een nadere beschouwing van de winter-, zomer-, kwartaal- en maandgegevens doet duidelijk aan het licht treden in welke mate de verhouding $\frac{N-Q}{N}$ aan fluctuaties onderhevig is gedurende de kringloop der seizoenen. Zo is in de zomer, wanneer het waterverbruik (d.i. de evaporatie en de transpiratie) een maximum waarde bereikt, de afvoer relatief gering ten opzichte van de neerslag. De verhouding $\frac{N-Q}{N}$ nadert tot 1 ofwel de neerslag wordt praktisch geheel verbruikt.
Gedurende de wintermaanden daarentegen, als de grond braak ligt, is het waterverbruik gering en daalt de verhouding $\frac{N-Q}{N}$ tot $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$. Deze verschuiving in de verhouding komt geprononceerder tot uitdrukking indien de cijfers voor de afzonderlijke maanden beschouwd worden.

Dat de verhouding $\frac{N-Q}{N}$ voor korte perioden overigens sterk afhankelijk is van hetgeen zich in het onmiddellijk voorafgaande tijdvak heeft afgespeeld, kan duidelijk aangetoond worden met gegevens ontleend aan de hoogwaterperioden, welke in de maanden juli en augustus 1954 zijn voorgekomen. Voor deze beide maanden zijn telkens voor perioden van 3 en 6 dagen (met eenzelfde aanvangs-

TABEL 3a. Neerslag (N), beekafvoer (Q) en waterverbruik (N-Q) voor perioden van 3 en 6 dagen, gedurende de maanden juli en augustus 1954, afgeleid voor meetpunt A (38400 ha) van de Berkel

1e dag van Σ N	1e dag van Σ Q	Aantal dagen vanaf 1e dag	Σ N mm/ etmaal	Σ Q		Σ (N-Q)	
				mm/ etmaal	% van N	mm/ etmaal	% van N
		3	13,6	0,5	3,7	13,1	69,3
12 juli 1954	13 juli 1954	6	31,0	1,5	4,8	29,5	95,2
		3	58,7	5,3	9,0	53,4	91,0
18 juli 1954	19 juli 1954	6	59,2	7,0	11,8	52,2	88,2
		3	33,6	7,4	22,0	26,2	78,0
26 juli 1954	27 juli 1954	6	61,6	12,9	20,9	48,7	79,1
		3	28,0	5,5	19,6	22,5	80,4
29 juli 1954	30 juli 1954	6	28,0	7,5	26,8	20,5	73,2
		3	62,3	19,2	30,8	43,1	69,2
15 aug. 1954	16 aug. 1954	6	66,5	22,6	34,0	43,9	66,0
		3	19,6	5,2	26,6	14,4	73,4
22 aug. 1954	23 aug. 1954	6	37,5	10,9	29,1	26,6	70,9
Totaal juli 1954		31	186,3 mm	23,2 mm	12,5	163,1 mm	87,5
Totaal aug. 1954		31	135,7 mm	49,6 mm	36,8	85,8 mm	63,2

TABEL 3b. Neerslag (N), beekafvoer (Q) en waterverbruik (N-Q) voor perioden van 3 en 6 dagen, gedurende de maanden juli en augustus 1954, afgeleid voor het stroomgebied van de Groote en Kleine Beerze (16300 ha)

1e dag van Σ N	1e dag van Σ Q	Aantal dagen vanaf 1e dag	Σ N mm/ etmaal	Σ Q		Σ (N-Q)	
				mm/ etmaal	% van N	mm/ etmaal	% van N
		3	12,2	0,6	5,2	11,6	95,8
6 juli 1954	7 juli 1954	6	12,4	1,2	9,8	11,2	90,2
		3	11,0	1,2	10,6	9,8	89,4
15 juli 1954	16 juli 1954	6	55,2	3,0	5,4	52,2	94,6
		3	44,2	1,8	4,1	42,4	95,9
18 juli 1954	19 juli 1954	6	44,4	3,0	6,8	41,4	93,2
		3	29,4	2,2	7,4	27,2	92,6
26 juli 1954	27 juli 1954	6	59,4	3,8	6,5	55,6	93,5
		3	30,0	1,7	5,6	28,3	94,4
29 juli 1954	30 juli 1954	6	32,2	2,8	8,7	29,4	91,3
		3	8,5	1,5	17,2	7,0	82,8
7 aug. 1954	8 aug. 1954	6	14,4	3,2	22,4	11,2	77,6
		3	23,8	3,1	13,2	20,7	86,8
15 aug. 1954	16 aug. 1954	6	27,9	5,3	19,1	22,6	80,9
		3	37,0	3,7	9,9	33,3	90,1
24 aug. 1954	25 aug. 1954	6	46,6	6,6	14,2	40,0	85,8
Totaal juli 1954		31	133,4 mm	11,3 mm	8,5	122,1 mm	91,5
Totaal aug. 1954		31	95,4 mm	22,0 mm	23,1	73,4 mm	76,9

datum) gekenmerkt door neerslag van uiteenlopende sterkte, de grootheden N, Q, N-Q en $\frac{N-Q}{N}$ bepaald en wel voor een onderdeel van het stroomgebied van de Berkel (ongeveer 30 km ten zuiden van het stroomgebied van de Spikkersbeek) ter grootte van ruim 38000 ha en voor het stroomgebied van de Groote en Kleine Beerze (zie de figuren 7a en 7b en tabel 3).

Van half juli tot half augustus daalt voor de Berkel de verhouding $\frac{N-Q}{N}$ van 0,95 tot 0,66 bij een neerslag van respectievelijk 31 en 66 mm in 6 dagen. Deze daling zou veroorzaakt kunnen zijn door een verminderd waterverbruik van het gewas. Daartegenover staat echter, dat ten gevolge van een vermoedelijk aanzienlijke vermeerdering van de vochtinhoud van de bodem (ten koste van Q) een daling ten dele te niet gedaan zou kunnen worden. Ofschoon voor het in beschouwing genomen Berkelgebied geen grondwaterstandgegevens bewerkt konden worden, zo blijkt uit de gegevens voor het gebied van de Spikkersbeek en Middensloot, dat aldaar op 28 augustus 1954 de grondwaterstand 60 cm hoger lag dan op 28 april van dat jaar (zie 4). Deze stijging van het grondwaterniveau heeft echter weer een vermeerdering van de beekafvoer veroorzaakt. De invloed van dit samenspel vanuiteenlopende factoren op het verloop van de grootheden Q, N-Q en $\frac{N-Q}{N}$ komt in de figuur duidelijk tot uitdrukking. In de tweede helft van augustus gaat voor $\frac{N-Q}{N}$ de dalende lijn weer over in een stijgende. Tussen de perioden van 3 en 6 dagen valt slechts een gering verschil in het verloop der besproken grootheden te constateren. Werd een aanzienlijk groter dan wel kleiner deel van het stroomgebied gekozen, dan bracht ook dit geen noemenswaardige verandering in de orde van grootte der hiervoor vermelde cijfers.

Voor het stroomgebied van de Groote en Klein Beerze, waar de neerslag in het algemeen kleiner was dan voor het Berkelgebied gemeten werd, zijn de wisselingen in de verhouding $\frac{N-Q}{N}$ minder opvallend en treden deze voornamelijk in de maand augustus op.

Het percentage van de neerslag over een bepaalde periode, dat in die periode verbruikt wordt c.q. tot afvoer komt, blijkt dus een aan sterke schommelingen onderhevige grootheid te zijn, welke daardoor slechts van geringe praktische betekenis is.

3. De waterbalans op basis van neerslag en evapotranspiratie (D. W. Stolp)

a. Evapotranspiratie

Bij het berekenen van het waterverbruik wordt onderscheid gemaakt tussen potentiële en reële evapotranspiratie.

1. Potentiële evapotranspiratie. Hieronder wordt verstaan het totaal van plantentranspiratie en rechtstreekse bodemvochtevaporatie en wel onder gunstige vochtomstandigheden. Deze worden gunstig geacht wanneer althans een deel van het

aanwezige bodemvocht door slechts zwakke krachten aan de grond wordt gebonden, zodat de plant het gemakkelijk kan onttrekken; voorts dient de luchthuishouding bij die vochtcondities zodanig te zijn, dat de wateropname door de plantewortels niet belemmerd wordt door zuurstofgebrek. Wordt aangenomen, dat, afgezien van de invloed van andere groeifactoren, alleen onder deze omstandigheden een maximale produktie wordt verkregen, dan kan de potentiële evapotranspiratie gelijkgesteld worden met de waterbehoefte. Ter kwantitatieve bepaling van deze behoefte voor grote gebieden met variërende begroeiing, bebouwing e.d. wordt hier gebruik gemaakt van de polderwaterbalansmethode. De cijfers die ELINK STERK aan het eind van de vorige eeuw voor de Haarlemmermeerpolder verzamelde en publiceerde en die sindsdien ettelijke malen getoetst werden aan nieuwere inzichten van anderen (BIJL, 1925; BRUGGEMAN, 1952) zijn een voorbeeld van deze methode; zij vormen de basis van de volgende berekeningen, zij het dan, dat enkele correcties voor windeffect, aard van de begroeiing e.d. moesten worden aangebracht op de wijze, welke uitvoeriger is beschreven in een vroegere publikatie (STOLP en MOHRMANN, 1953). Zodoende kunnen de volgende gemiddelde maandcijfers voor de potentiële evapotranspiratie verkregen worden:

jan.	febr.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	jaar
4	7	17	42	91	115	118	88	46	22	10	5	565 mm

Deze cijfers zijn als sommatiecurve weergegeven in fig. 8.

Het gemiddelde bouwplan, afgeleid uit gegevens van de Directie van de Landbouw, is in de onderscheidene gebieden afgerond in % van de oppervlakte cultuurgrond weergegeven in tabel 4.

TABEL 4. Het gemiddelde bouwplan in %

	Groote en Kleine Beerze Sterkselsche en Groote Aa	Spikkersbeek en Middensloot	Grondgebruik, aangenomen bij berekening potentiële evapotranspiratie	Verwacht bouwplan in alle gebieden onder toepassing van beregening (C.O.L.N. 1953)
Rogge	25	27	—	17
Haver	17	12	—	9
Gerst	—	—	—	7
Tarwe	—	—	35	2
Mais	3 (56)	— (57)	—	5
Aardappelen	7	13	—	14
Bieten	4	5	—	7
Erwten	—	—	—	5
Gras	44	43	65	34
Totaal	100	100	100	100

Ter vergelijking zijn in kolom 3 opgenomen de verhoudingscijfers van het grondgebruik, dat uitgangspunt was bij de berekening van de potentiële evapotranspiratie, terwijl in kolom 4 het door de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland bij doeltreffende waterbeheersing mogelijk geachte bouwplan is weergegeven.

Het blijkt, dat hier de gesignaleerde verschillen in grondgebruik weinig invloed hebben op de potentiële evapotranspiratie. Er is daarom van afgezien correcties voor deze verschillen aan te brengen.

Verder zijn klimaatsverschillen tussen het zuiden en het oosten van Nederland, die de potentiële evapotranspiratie zouden kunnen beïnvloeden, verwaarloosd.

Op grond van berekeningen, die SONNEVELD met de verdampingsformule van THORNTHWAITE uitvoerde (SONNEVELD, 1957), is die invloed van een orde van grootte van 5 à 10 %.

TABEL 5

Termijnstation	1A			1B			Quotiënt van de variabiliteitscoëfficiënten
	april t/m augustus 1920 t/m 1950						
	Verdampingssommen volgens THORNTHWAITE			Neerslagsommen			
	$\bar{x}$	δ	$\frac{\delta}{\bar{x}} \times 100$	$\bar{x}$	δ	$\frac{\delta}{\bar{x}} \times 100$	
Den Helder .	432	14,2	3,3	252	55,9	24,8	7,5
Leeuwarden	445	16,3	3,7	293	62,0	21,2	5,7
Groningen .	450	15,6	3,3	327	71,2	21,8	6,6
Hoorn . . .	445	1,46	3,3	291	68,4	23,5	7,1
Wijster . . .	442	15,85	3,6	352	65,3	18,5	5,1
Naaldwijk. .	446	14,69	3,3	282	59,2	21,0	6,4
De Bilt . . .	455	15,38	3,4	324	74,9	23,1	6,8
Winterswijk .	455	16,52	3,6	331	72,5	21,9	6,1
Vlissingen . .	446	17,53	3,9	272	66,7	24,5	6,3
Oudenbosch .	452	17,3	3,9	298	72,7	24,4	6,2
Gemert . . .	464	17,7	3,8	295	63,0	21,3	5,6
Maastricht. .	475	19,2	4,0	278	75,7	27,2	6,8

Volgens metingen van KRAMER (1955) met Piche-verdampingsmeters zijn de verschillen echter veel groter. Dit zou een reden kunnen zijn om de gelijkstelling, welke voor de gebieden onderling werd toegepast, ontoelaatbaar te achten. Ten slotte is aangenomen, dat de potentiële evapotranspiratie van jaar tot jaar zo weinig uiteenloopt, dat gevoegelijk met een gemiddelde gewerkt kan worden. Dit inzicht stamt gedeeltelijk uit Engelse gegevens en is gedeeltelijk gebaseerd op de bovenbedoelde berekeningen van SONNEVELD (tabel 5).

2. Reële evapotranspiratie. De werkelijke transpiratie zal van de potentiële gaan afwijken, indien de grond uitdroogt. Het verband tussen beide is in 1950 door PENMAN gegeven (figuur 9).

Met behulp van deze samenhang, de dagelijkse neerslagwaarnemingen en de wortelconstante is uit de (bekende) potentiële evapotranspiratie de reële te berekenen.

Onder de wortelconstante wordt verstaan het produkt van de bewortelingsdiepte, gemiddeld voor de voorkomende gewassen, en het percentage „beschikbaar vocht" in de betrokken grondlagen bij veldcapaciteit. De gemiddelde bewortelingsdiepte op een bepaald moment is gegeven door GOEDEWAAGEN. De gewassenverdeling in de betrokken gebieden in aanmerking genomen en stellende dat deze gronden 12 vol. % beschikbaar vocht bij veldcapaciteit bevatten, wordt voor de maanden maart tot en met september de gemiddeld voor een gebied beschikbare hoeveelheid vocht bij veldcapaciteit:

per 1 mrt.	1 apr.	1 mei	1 juni	1 juli	1 aug.	1 sept.	1 okt.	
31	37	60	70	75	45	39	34	mm

Een voorbeeld van de aldus te verkrijgen curve voor de reële evapotranspiratie voor het gebied van de Groote en Klein Beerze 1952 geeft figuur 10.

b. De waterbalans

Het verschil tussen de jaarsommen van de neerslag en van de reële evapotranspiratie is het *neerslagoverschot*, dat in vloeibare vorm uit het gebied moet worden afgevoerd. Dit is derhalve de onbekende term in de waterbalans.

De geschetste methode heeft voor de jaren 1948–1953 tot de volgende cijfers geleid.

TABEL 6

	Groote en Kleine Beerze			Sterkselsche en Groote Aa			Spikkersbeek en Middensloot		
	Neerslag	Reële E.T.	Berekend neerslagoverschot	Neerslag	Reële E.T.	Berekend neerslagoverschot	Neerslag	Reële E.T.	Berekend neerslagoverschot
1948	775	552	223	695	525	170	720	519	201
1949	560	401	159	570	428	142	685	443	242
1950	890	546	344	780	496	284	830	541	289
1951	800	516	284	835	557	278	905	557	348
1952	790	441	349	790	445	345	770	481	289
1953	540	492	48	490	480	10	615	503	112
6-jaarsgemiddelde	727	491	236	695	488	207	755	507	248
Gemeten afvoer (6-jaarsgemidd. volgens LATOUR)			235,4			198,2			418,5
Gemiddelden 1901-1950 met neerslagcijfers voor De Bilt	784	489	295						

Ter vergelijking zijn de door LATOUR (1954) uit afvoer*metingen* verkregen cijfers eveneens in deze tabel opgenomen, alsmede voor de periode 1901–1950 de gemiddelden voor de neerslag (De Bilt), voor de reële evapotranspiratie en voor het berekende neerslagoverschot.

Er blijkt een goede overeenstemming te bestaan tussen de berekende en de gemeten afvoer (beide als gemiddelden over 1948–1953), althans voor de beide stroomgebieden in Noord-Brabant. Het stroomgebied van de Spikkersbeek en Middensloot wijkt af, niet zozeer door het berekende neerslagoverschot als wel door een grotere gemeten beekafvoer. Uit tabel 6 blijkt voorts, dat er een sterke jaarlijkse variatie is in de berekende afvoer. Deze is veel sterker dan de metingen aangeven, zoals is af te leiden uit de fig. 11, 12 en 13, waarin beide grootheden als sommatiecurven over 1948–1953 kunnen worden vergeleken.

Een verklaring voor dit verschijnsel wordt gevonden in de bufferende, vertragende invloed, die de bodem heeft op de grondwaterafvoer naar de beken. In de perioden, dat de berekende afvoer groter is dan de gemeten beekafvoer, heeft een aanrijking van het grondwater plaats; in het omgekeerde geval treedt een verkleining van de grondwatervoorraad op. Daarom kunnen in de regel voor kalenderjaren geen sluitende balansen worden verwacht, indien de grondwaterstand niet mede in aanmerking wordt genomen. Een bevestiging hiervan wordt gevonden door vergelijking van de toestand op 14 december 1952 en die op 14 december 1953 (zie 4). Het verschil in grondwatervoorraad bedraagt volgens de berekeningen voor het stroomgebied van de Groote en de Kleine Beerze rond 170 mm.

De grondwaterstanden, zoals deze opgegeven zijn door het Archief van Grondwaterstanden T.N.O., zouden gemiddeld 89 cm verschillen. Dit zou betekenen, dat ca. 19 vol. % water in de betrokken bodemlaag geborgen of eraan onttrokken wordt, een cijfer dat althans in de goede grootte-orde ligt. Voor de Sterkselsche en de Groote Aa zijn deze cijfers respectievelijk 160 mm, 100 cm en 16 %.

Volledigheidshalve is in figuur 14 voor elk van de jaren 1948 t/m 1954 de verhouding gegeven tussen de reële evapotranspiratie (berekend volgens de methode-PENMAN) en het waterverbruik (berekend als verschil tussen N en Q).

c. De waterbalans onder toepassing van kunstmatige beregening met grondwater

Eerst dient nagegaan te worden, hoeveel water er aan de wortelzone van de gewassen moet worden toegevoegd om geheel in de potentiële waterbehoefte van die gewassen te voorzien.

Er wordt daarbij – evenals hierboven – bij de berekening van de wortelconstante aangenomen, dat alle bodemvocht in het traject tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt even gemakkelijk opneembaar is, althans dat uitdroging tòt het verwelkingspunt geen invloed heeft op de evapotranspiratie. Al bestaan er aanwijzingen dat deze aanname niet juist is, hij geschiedt eenvoudshalve omdat een universeel verband tussen uitdrogingsgraad en evapotranspiratie nog niet bekend is.

Daartoe wordt aan de hand van de gegevens voor potentiële evapotranspiratie, de bij veldcapaciteit in de wortelzone beschikbare hoeveelheid vocht en de natuurlijke

neerslag nagegaan op welke momenten de voorraad beschikbaar vocht uitgeput is door het uitblijven van voldoende regen en hoeveel water op die momenten nodig zou zijn om de grond weer geheel op veldcapaciteit terug te brengen (deze hoeveelheid is uiteraard gelijk aan de eerder besproken „wortelconstante").

De aldus berekende hoeveelheden, per jaar gesommeerd, zijn vermeld in tabel 7.

TABEL 7. Hoeveelheden water (in mm) die verregend zouden moeten worden om de potentiële waterbehoefte te dekken

	Groote en Kleine Beerze	Sterkselsche en Groote Aa	Spikkersbeek en Middensloot
1948	75	115	130
1949	250	195	200
1950	75	130	75
1951	125	75	65
1952	195	195	140
1953	125	125	115
Gemiddeld	141	139	121
Verliezen tijdens beregening	20	20	18
Totaal te verregenen	161 mm	159 mm	139 mm

De afzonderlijke jaarsommen lopen uiteen van 75 mm in 1948 en 1950 tot 250 mm in 1949 (Groote en Kleine Beerze), terwijl de zes-jaars-gemiddelden blijken te bedragen voor het stroomgebied van Groote en Kleine Beerze 141 mm, van Sterkselsche en Groote Aa 139 mm en van Spikkersbeek en Middensloot 121 mm. Het regelmatig aanvullen van de vochtvoorraad in de wortelzone van de bodem heeft tot gevolg, dat een groter deel van de jaarlijkse (natuurlijke) neerslag zich bij het grondwater zal voegen, ten dele doordat de regen, die kort na een kunstmatige beregening valt, als drainwater zal wegzakken, overigens omdat er in de nazomer en de herfst minder water nodig zal zijn om de grond weer op veldcapaciteit te brengen. Wordt het voor aanvullende beregening benodigde water derhalve aan het grondwater onttrokken, dan zal een deel hiervan als meerder zakwater weer terugkeren tot het grondwater [1].

Bij toepassing van beregening als distributiesysteem zullen waterverliezen optreden ten gevolge van verwaaiing en rechtstreekse verdamping. In de onderhavige berekeningen worden deze verliezen gesteld op gemiddeld 20 mm per jaar voor de Noord-Brabantse gebieden en op 18 mm voor Spikkersbeek en Middensloot.

[1] De verregende waterhoeveelheden, verminderd met de hierna becijferde toeneming van de evapotranspiratie, geven de toeneming van de hoeveelheden zakwater aan:

Groote en Kleine Beerze . . . . . 161 — 94 = 67 mm
Sterkselsche en Groote Aa . . . . 159 — 97 = 62 mm
Spikkersbeek en Middensloot. . . 139 — 76 = 63 mm.

Er valt thans te concluderen, dat gemiddeld over de beschouwde zes jaren door beregening het waterverbruik zal toenemen met

565 — 491 + 20 = 94 mm in het stroomgebied van Groote en Kleine Beerze
565 — 488 + 20 = 97 mm in het stroomgebied van Sterkselsche en Groote Aa
565 — 507 + 18 = 78 mm in het stroomgebied van Spikkersbeek en Middensloot

zijnde het verschil tussen potentiële en reële evapotranspiratie vermeerderd met de verliezen, die optreden tijdens de beregening.

d. Conclusies

1. Voor de meeste gronden in de beschouwde gebieden moet gerekend worden met reële verdrogingskansen, aangezien de natuurlijke neerslag niet zodanig over het jaar (groeiseizoen) is verdeeld, dat de gewassen voortdurend hun potentiële waterbehoefte kunnen dekken.
2. Het verschil tussen de waterbehoefte (565 mm) en het reële waterverbruik ligt in de orde van 75 mm per jaar (gemiddeld over 1948–1953).
3. Er is een grotere hoeveelheid water nodig voor het overbruggen van dit verschil omdat:
   a. de beregening met stoten geschiedt en de natuurlijke neerslag zelden in dit schema past;
   b. verdampingsverliezen tijdens de distributie van het water optreden.

   De bruto wateraanvoer zou daarom gemiddeld in die jaren ongeveer 155 mm hebben moeten zijn.
4. Een belangrijk deel van deze wateraanvoer zou wederom ten goede gekomen zijn aan de grondwatervoorraad, nl. gemiddeld ca. 65 mm per jaar.
5. Derhalve is rond 90 mm de hoeveelheid, die onder beregeningsomstandigheden gemiddeld over die 6 jaar méér verdampt zou zijn dan zonder toepassing van wateraanvoer.

4. De fluctuaties in de hoogteligging van de grondwaterspiegel (J. H. M. Latour)

Voor de verschillende stroomgebieden (uitgezonderd de Mark) is onder gebruikmaking van gegevens, welke berusten in het Archief van Grondwaterstanden T.N.O., de ligging van de grondwaterspiegel ten opzichte van het maaiveld berekend.

In hoofdzaak betreft het hier waarnemingsmateriaal, dat onder auspiciën van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland verzameld is. Ter beschikking waren:

Stroomgebied	Aantal waarnemingspunten	
	Totaal	per km²
De Spikkersbeek en Middensloot	104	1,8
De Groote en Kleine Beerze	89	0,5
De Sterkselsche en Groote Aa	173	0,9

De waarnemingen zijn verricht op 14 december 1952, 28 april, 28 augustus, 14 oktober en 14 december 1953, 28 april, 28 augustus en 14 oktober 1954.

In figuur 15a is voor het stroomgebied van de Groote en Kleine Beerze de samenhang weergegeven tussen de grondwaterstanden en de som van de neerslag (N), van de afvoer (Q) en van het waterverbruik N-Q over 7 en 28 dagen vóór de opnamedatum van de grondwaterstand, terwijl voor elk van de 3 stroomgebieden voorts in figuur 15b het verband tussen de hoogteligging van de grondwaterspiegel en het waterverbruik (N-Q) is aangegeven.

In alle gebieden blijken de fluctuaties in de hoogteligging van de grondwaterspiegel in grote lijnen hetzelfde verloop te hebben. Het maximum werd waargenomen op 14 december 1952, het minimum in oktober 1953. De situatie op 28 augustus 1954 is in het gebied van de Spikkersbeek en de Middensloot onder de invloed van uitzonderlijk zware neerslag afwijkend van die, welke op dit tijdstip in de andere gebieden – waar minder neerslag gevallen was – optrad.

Uit de lijnen van figuur 15 volgt overigens, dat onder normale omstandigheden een duidelijk verschil aanwezig is tussen de augustus-waarneming, d.i. het tijdstip gelegen midden in de oogstperiode en de overige waarnemingen, welke geschieden op tijdstippen, waarop de grond nog braak ligt of slechts uiterst licht begroeid is. De grondwaterstand blijft in augustus aan de lage kant. De neerslag komt – voor zover deze althans niet door het gewas wordt vastgehouden – niet verder dan de bovenste bodemlagen en wordt door de planten direct daaraan onttrokken. Er komt zeer weinig of geen water via de beken tot afstroming.

Het natte najaar van 1954 veroorzaakt daarentegen in oktober een betrekkelijk hoge waterstand, welke echter lager blijft dan de stand van december 1952, ondanks het feit, dat er in 28 dagen vóór de opname van de grondwaterstand in oktober 1954 aanzienlijk meer neerslag gevallen is dan in dezelfde periode voorafgaande aan de december-opname in 1952.

Uit het voorgaande blijkt overduidelijk, dat op data, welke precies een jaar uit elkaar zijn gelegen, ook al worden deze in het natte seizoen (b.v. oktober of december) gekozen, toch gerekend zal moeten worden op het voorkomen van sterk uiteenlopende grondwaterstanden aan het begin en aan het einde van de periode. Dit houdt in, dat wanneer gesproken wordt over een waterbalans, de term „wijziging vochtinhoud van de bodem" in zeer vele gevallen niet gelijk aan nul gesteld mag worden. Deze veronderstelling mag dan ook alleen maar met de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden. De nauwkeurigheid, waarmede voor b.v. een kalenderjaar de grootheden Q en N-Q berekend kunnen worden, zal dus aanzienlijk geringer zijn, dan voor een 6-jarig gemiddelde het geval is. In hoeverre een der maanden januari, februari, maart of april – in verband met het voorkomen van wellicht minder sterk van jaar tot jaar uiteenlopende grondwaterstanden – beter geschikt is voor de afbakening van een jaarperiode, waarvoor de waterbalans moet worden opgesteld, is niet onderzocht.

Het optreden van de spreiding in de jaarcijfers voor N-Q (zie tabel 1) zal ongetwijfeld in sterke mate voor rekening komen van het verschil in vochtinhoud van de bodem aan het begin en aan het einde van het jaar. De grondwaterstand op 14 december

1952 blijkt over het algemeen ongeveer 1 m hoger te zijn dan die, welke op 14 december 1953 voorkwam.

Bij een aanname van omstreeks 25 % poriënvolume is met dit verschil in grondwaterstand een schijf water ter dikte van 250 mm gemoeid. De correcties, welke op grond van de vochtinhoudsverandering van de bodem in het berekende waterverbruik moeten worden aangebracht, zullen dus al spoedig enkele tientallen mm en in ongunstige gevallen zelfs enkele honderden mm kunnen bedragen.

Wordt dus, zoals in figuur 14 is geschied, per kalenderjaar het verband uitgebeeld tussen de berekende evapotranspiratie (volgens STOLP) en het berekende waterverbruik (volgens LATOUR), dan zal dus o.m. ten gevolge van het niet in rekening brengen van de vochtinhoudsverandering van de bodem een grote spreiding in de ligging der punten ontstaan.

Zo kwam in 1953 in alle stroomgebieden bij een lage N en een relatief hoge Q een zeer lage grondwaterstand tot ontwikkeling, enerzijds onder invloed van een enigszins versterkte afvloeiing naar de hoek, anderzijds – en zulks wellicht in hoofdzaak – ten gevolge van het feit, dat vanwege de geringe hoeveelheid in de bovenste bodemlagen aanwezig vocht, de plantewortels ook water aan de dieper gelegen lagen waren gaan onttrekken. Zou door een kunstmatige ingreep voorkomen zijn geworden, dat meer dan in de voorgaande jaren water aan de bodem werd onttrokken, dan waren grotere waarden voor N-Q gevonden, zodat de 3 punten, welke in figuur 14 op 1953 betrekking hebben, meer naar rechts zouden zijn verschoven, waardoor zij beter in het geheel zouden passen.

LITERATUUR

1. BRUGGEMAN, A. G. — Kwel en verdamping in de Haarlemmermeerpolder. *De Ingenieur 64* (1952: B) 25–29.
2. BIJL, J. G. — Het kwelwater in de Haarlemmermeerpolder. *De Ingenieur 7* (1925).
3. COMMISSIE Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland. — De invloed van de afsluiting van de zeegaten op de landbouwwaterhuishouding in het zuidwesten van Nederland, Utrecht 1953.
4. ELINK STERK, A. — Over regen, verdamping en kwel in de Haarlemmermeerpolder. Verh. Kon. Inst. Ing., 1897/98. 1897.
5. KRAMER, C. — Onderzoek naar de invloed van neerslag en verdamping op de dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand. De Bilt, 1954.
6. LATOUR, J. H. M. — De afvoeren van de kleine rivieren in Nederland, 1952. Versl. Techn. Bijeenk. T.N.O. 7–10 (1955).
7. PENMAN, H. L. — Recent Rothamsted studies in natural evaporation. *Landbouwk. Tijdschr. 62* (1950) 166–178.
8. SONNEVELD, A. — Precipitation deficits in the Netherlands. *Netherlands J. Agric. Sci. 5* (1957) 61–70.
9. STOLP, D. W. en J. C. J. MOHRMANN — Droogtekansen en beregening op hoge zandgronden. *Meded. Dir. Tuinb. 16* (1953) 363–378.
10. THORNTHWAITE, C. W. — An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* (1948) 38, 55.

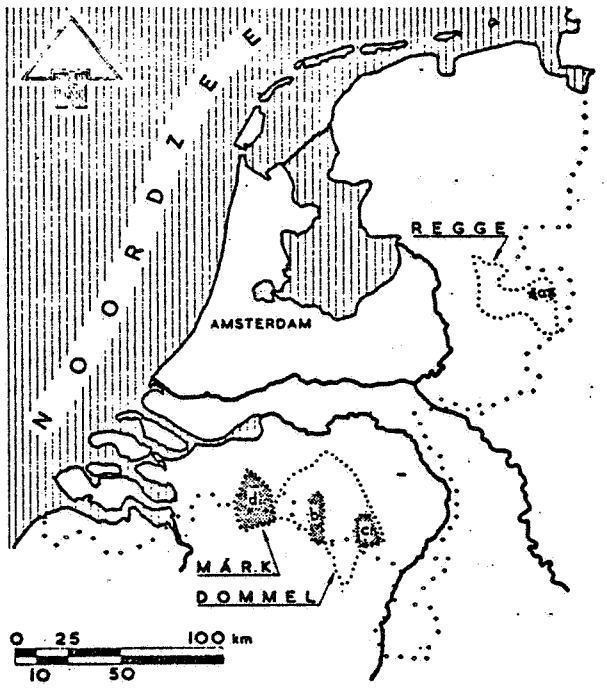


FIG. 1.
Overzichtskaart van Nederland, met aanduiding van de ligging der in het artikel behandelde stroomgebieden.

FIG. 1.
Survey-map of the Netherlands with an indication of the basins of the discussed rivers.
Carte des Pays-Bas indiquant les bassins des rivières discutées.

VERKLARING:

a = Spikkersbeek en Middensloot.
b = Kleine en Groote Beerze.
c = Groote en Sterkselsche Aa.
d = Mark
. . . . . = hoofdstroomgebiedsgrens.
= *boundary of the chief basin.*
= *limite du bassin principal.*
. . . . . = secundaire stroomgebiedsgrens.
= *boundary of the secondary basin.*
= *limite du bassin secondaire.*
+ + + = Rijksgrens.
= *frontier of country.*
= *frontière nationale.*

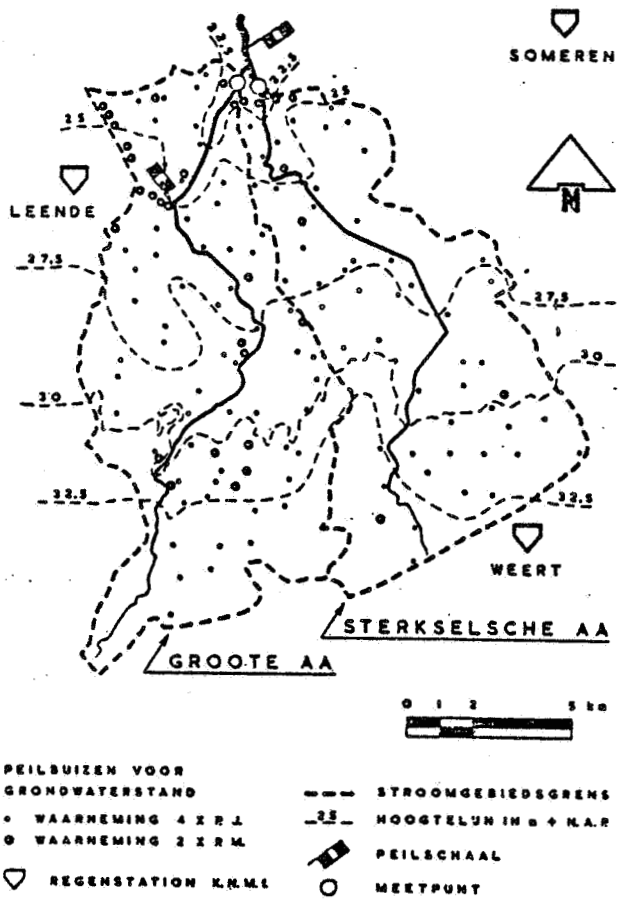


FIG. 2.
Overzichtskaart van het stroomgebied van de Groote Aa en de Sterkselsche Aa (zie stroomgebied c van fig. 1).

FIG. 2.
The basin of the Groote Aa and of the Sterkselsche Aa (see c in fig. 1).
Le bassin du „Groote Aa" et celui du „Sterkselsche Aa" (voir c de la figure 1).

FIG. 3. Hoogteligging van het maaiveld t.o.v. het N.A.P.

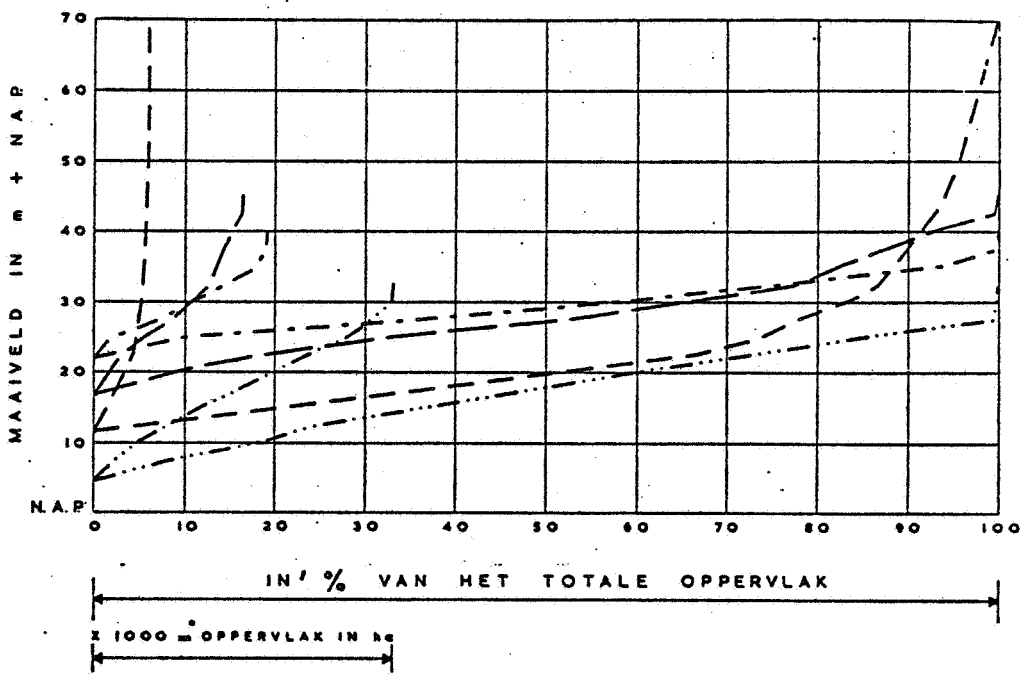


FIG. 3. *Height of the soil-surface above N.A.P.*
Hauteur de la surface du terrain sur N.A.P.

VERKLARING:
— — — — Spikkersbeek en Middensloot.
——— ——— Kleine en Groote Beerze.
— - — - Groote en Sterkselsche Aa.
—··· —··· Mark.

FIG. 4. Terreinhelling.

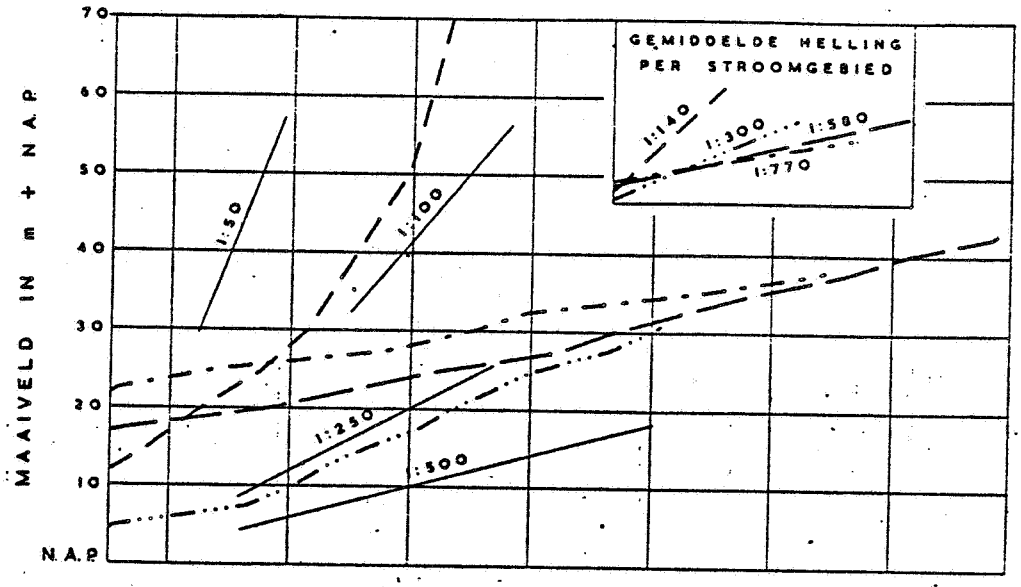


FIG. 4. *Slope.*
Inclination du terrain.

VERKLARING:
— . — . — Spikkersbeek en Middensloot.
——— ——— Kleine en Groote Beerze.
— - — - — Groote en Sterkelsche Aa.
—··· —··· Mark.

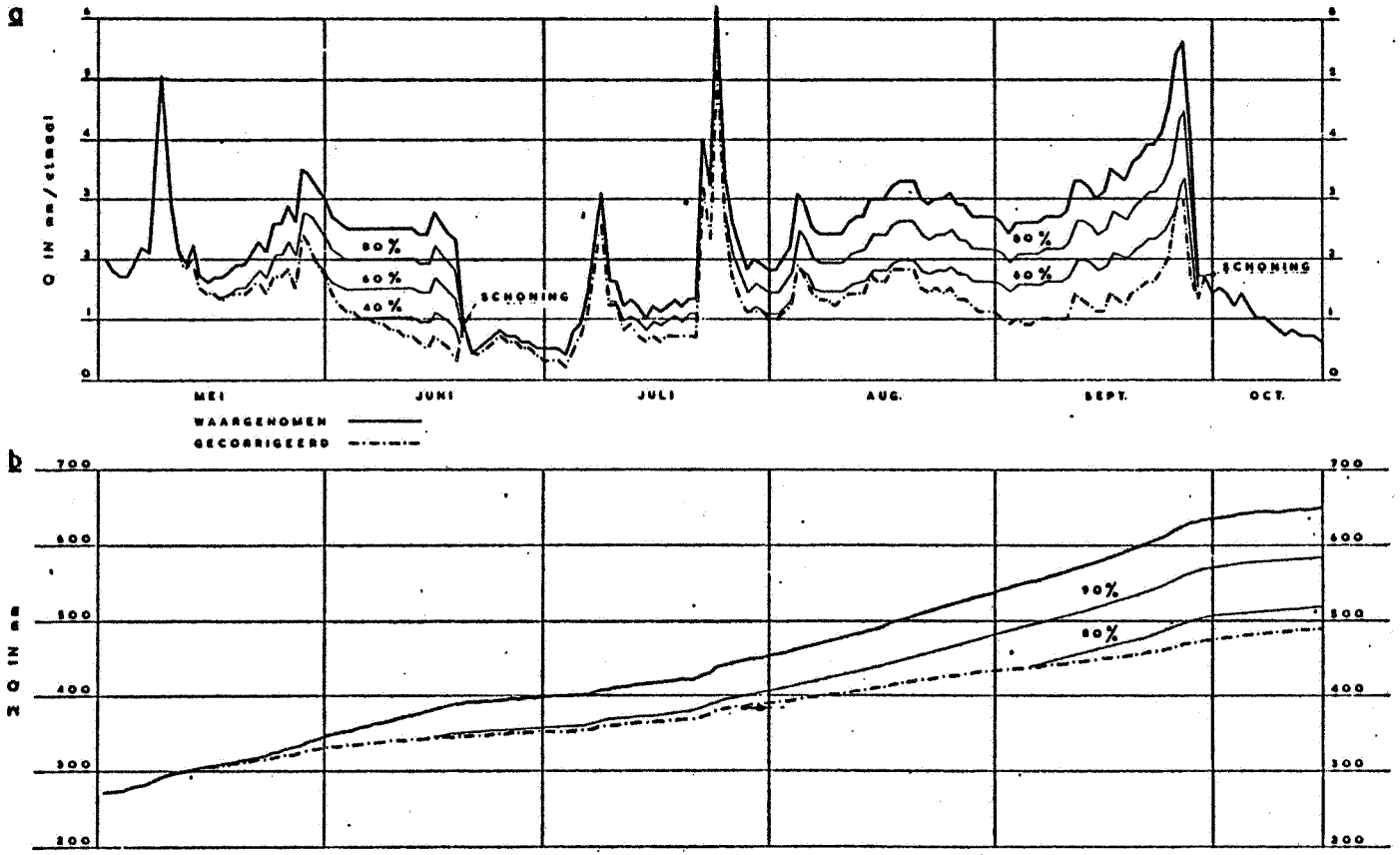


FIG. 5. Invloed van de bodembegroeiing op de afvoer.
Spikkersbeek en Middensloot (periode mei-oktober 1950).
a = dagelijkse afvoeren.
b = gesommeerde afvoeren (van 1-1-1950 af).

FIG. 5.
Influence of the vegetation in the rivers on the discharge.
L'incidence de la végétation dans les rivières sur l'écoulement.

FIG. 6. Neerslag (N), beekafvoer (Q) en waterverbruik (N – Q) in mm per stroomgebied. (Gemiddelden over 1948 t/m 1953). (Zie ook tabel 2).

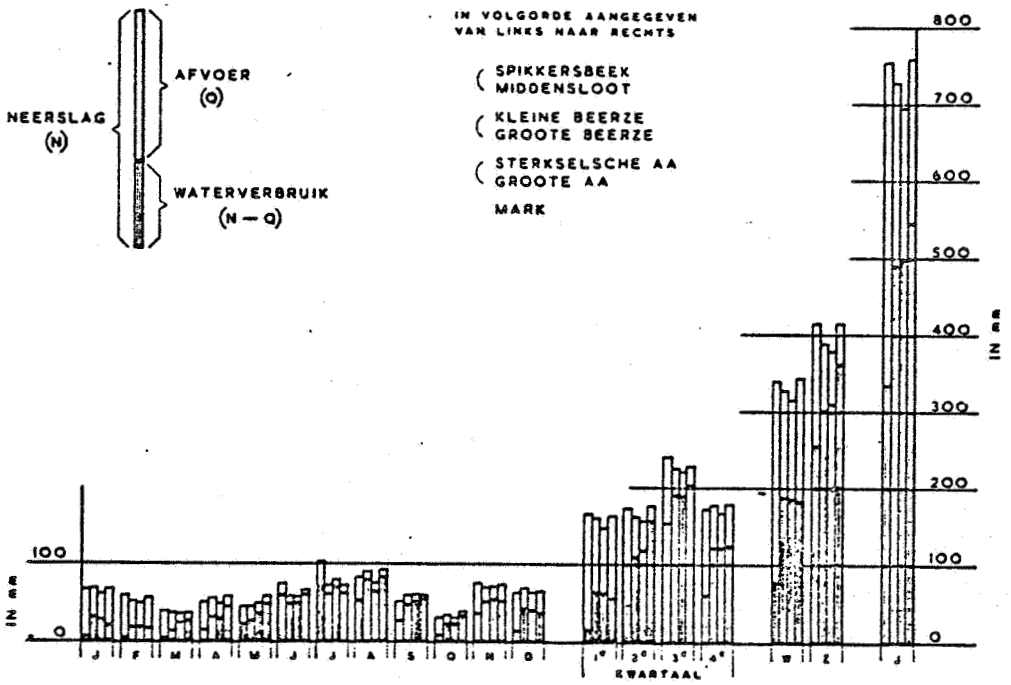


FIG. 6. *Precipitation (N), discharge (Q) and evapo-transpiration (N – Q) in mm.*
La précipitation (N), l'écoulement (Q) et l'évapo-transpiration (N – Q) en mm.

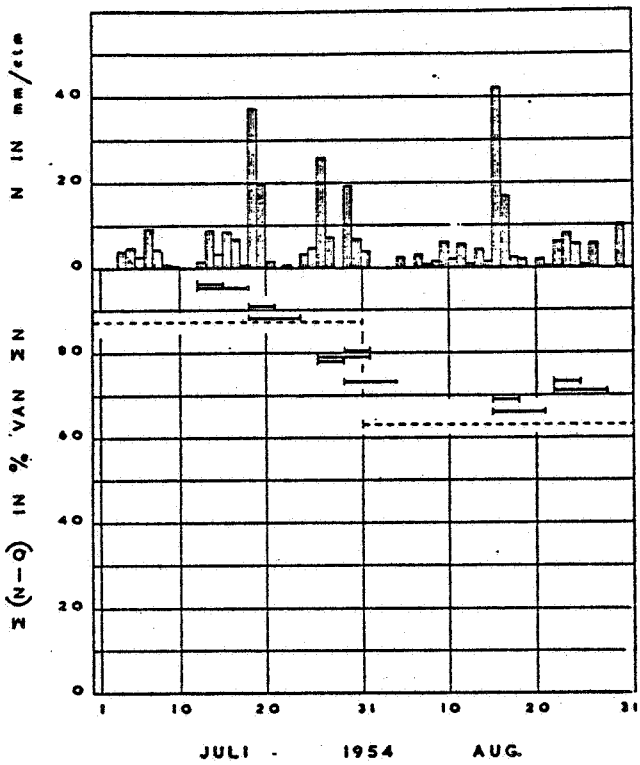


FIG. 7a.

Verhouding $\frac{N-Q}{Q}$ voor het stroomgebied van de Berkel gedurende juli en augustus 1954.

VERKLARING:

|—| $\Sigma (N-Q)$ in 3 dagen.
|———| $\Sigma (N-Q)$ in 6 dagen.
|– – –| maandgemiddelde $\Sigma (N-Q)$.

FIG. 7a.

Ratio $\frac{N-Q}{Q}$ *for the basin of the Berkel in July and August 1954.*

Proportion $\frac{N-Q}{Q}$ *en cas du bassin du Berkel pendant les mois de juillet et d'août 1954.*

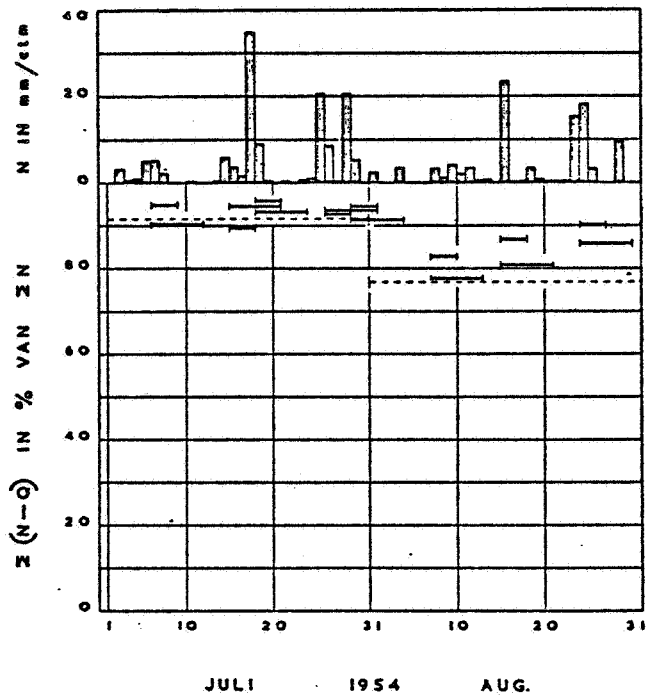


FIG. 7b.

Verhouding $\frac{N-Q}{Q}$ voor het stroomgebied Kleine en Groote Beerze gedurende juli en augustus 1954.

VERKLARING:

|—| $\Sigma (N-Q)$ in 3 dagen.
|———| $\Sigma (N-Q)$ in 6 dagen.
|– – –| maandgemiddelde $\Sigma (N-Q)$.

FIG. 7b.

Ratio $\frac{N-Q}{Q}$ *for the basin of the Kleine en Groote Beerze in July and August 1954.*

Proportion $\frac{N-Q}{Q}$ *en cas du bassin du Kleine et Groote Beerze pendant les mois de juillet et d'août 1954.*

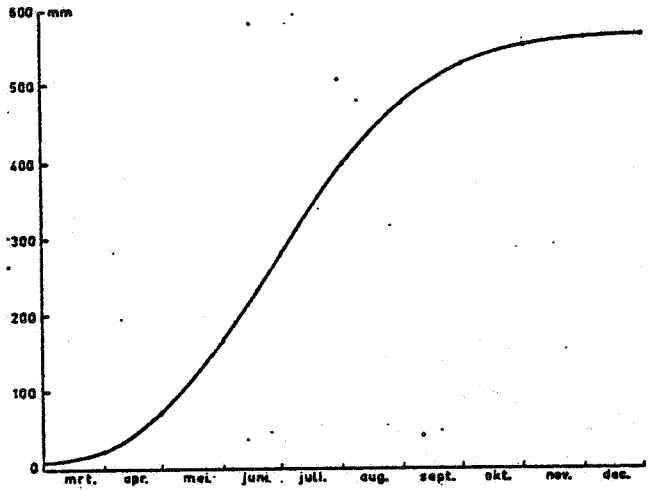


FIG. 8.

Sommatiecurve van de potentiële evapotranspiratie.

FIG. 8.

Sommation curve of the potential evapo-transpiration.
Courbe de sommation de l'évapotranspiration potentielle.

FIG. 9. Verband tussen potentiële en reële evapotranspiratie volgens H. L. PENMAN.

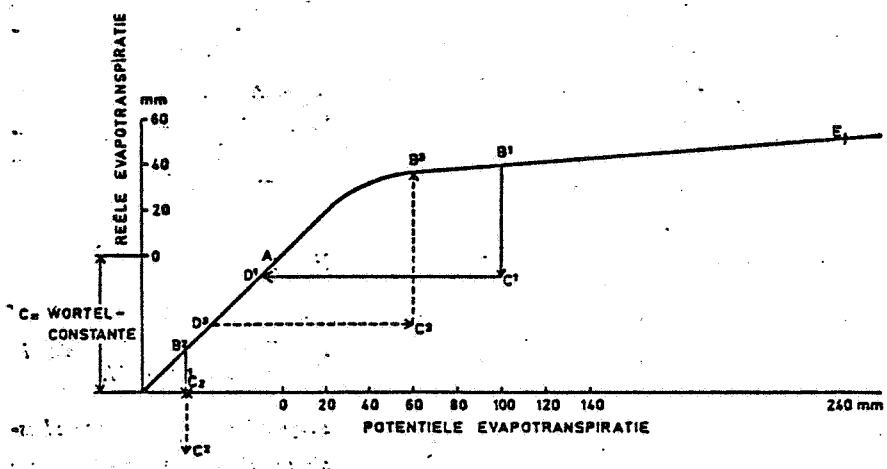


FIG. 9. *Connection between the potential and the real evapo-transpiration according to* H. L. PENMAN.
Relation entre l'évapo-transpiration potentielle et réelle d'après H. L. PENMAN.

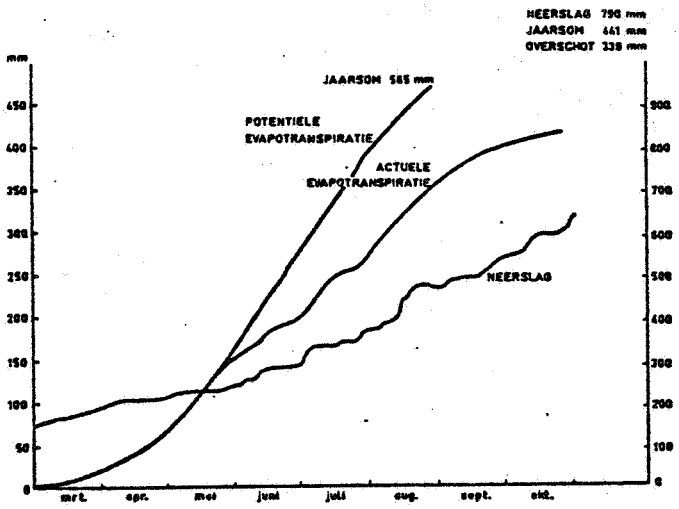


FIG. 10.

Sommatiecurve van de potentiële en reële evapotranspiratie en de neerslag in 1952 voor het stroomgebied van de Kleine en Groote Beerze.

FIG. 10.

Sommation curves of the potential and the real evapotranspiration and of the precipitation in 1952 for the basin of the Kleine en Groote Beerze.
Courbes de sommation de l'évapo-transpiration potentielle et réelle et de la précipitation en 1952. Bassin des Kleine et Groote Beerze.

FIG. 11. Sommatiecurven van de neerslag en van de gemeten en de berekende afvoer in het stroomgebied van de Kleine en Groote Beerze over 1948—1953.

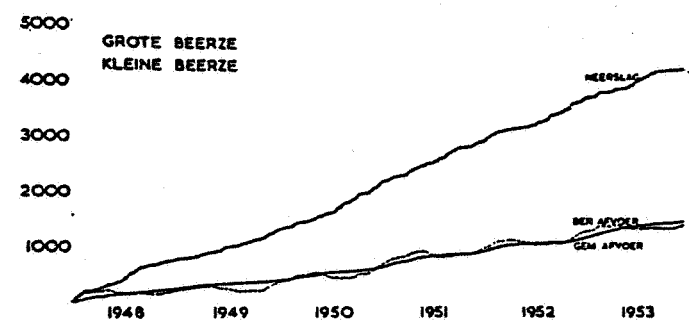


FIG. 11.

Sommation curves of the precipitation and of the measured and calculated discharge in the basin of the Kleine en Groote Beerze in 1948—1953.
Courbes de sommation de la précipitation et de l'écoulement mesuré et calculé dans le bassin des Kleine et Groote Beerze pendant 1948—1953.

FIG. 12. Sommatiecurven van de neerslag en van de gemeten en de berekende afvoer in het stroomgebied van de Groote en Sterkselsche Aa over 1948—1953.

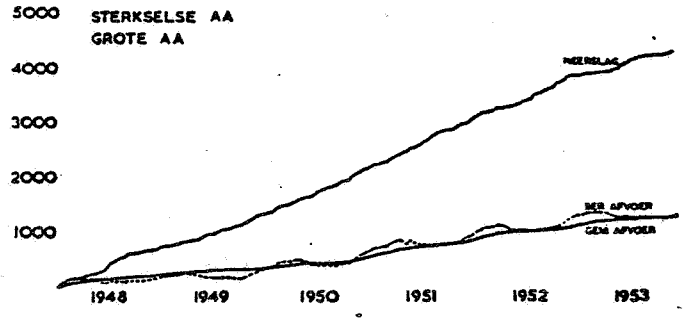


FIG. 12.

Sommation curves of the precipitation and of the measured and calculated discharge in the basin of the Groote en Sterkselsche Aa in 1948—1953.
Courbes de sommation de la précipitation et de l'écoulement mesuré et calculé dans le bassin des Groote en Sterkselsche Aa pendant 1948—1953.

FIG. 13. Sommatiecurven van de neerslag en van de gemeten en de berekende afvoer in het stroomgebied van de Spikkersbeek en Middensloot over 1948—1953.

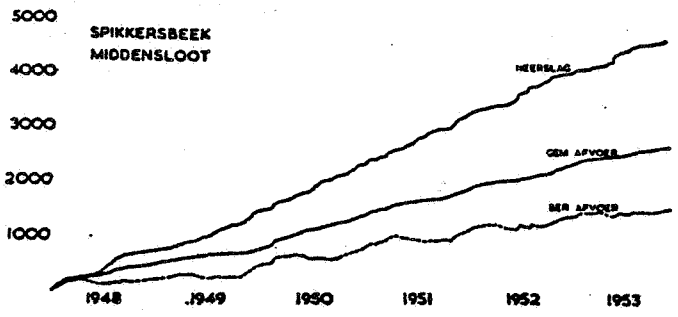
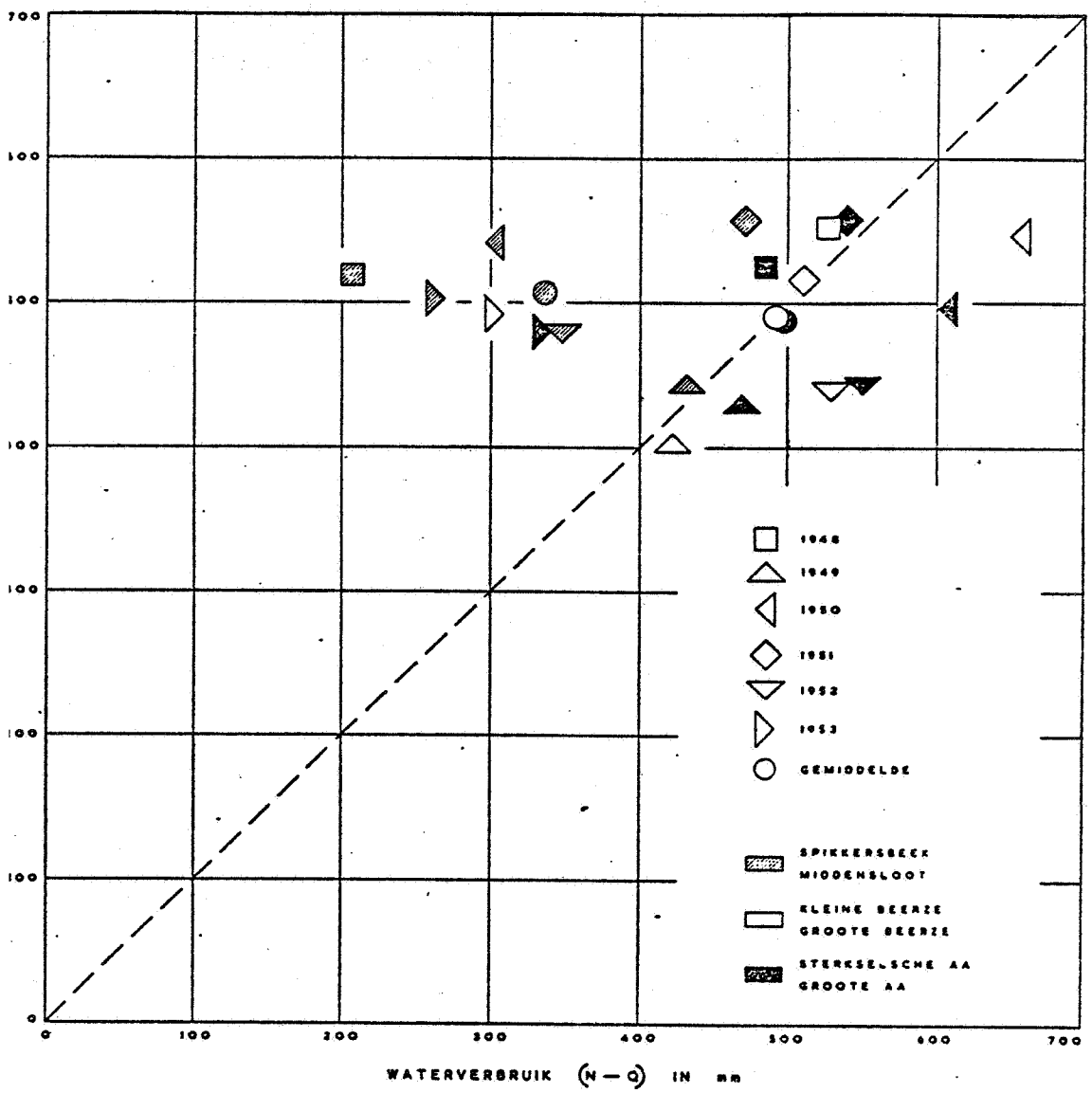


FIG. 13.

Sommation curves of the precipitation and of the measured and calculated discharge in the basin of the Spikkersbeek en Middensloot in 1948—1953.
Courbes de sommation de la précipitation et de l'écoulement mesuré et calculé dans le bassin des Spikkersbeek en Middensloot pendant 1948—1953.

14. Verhouding tussen de reële evapotranspiratie (berekend volgens de methode-PENMAN) en het waterverbruik (berekend als verschil tussen N en Q).



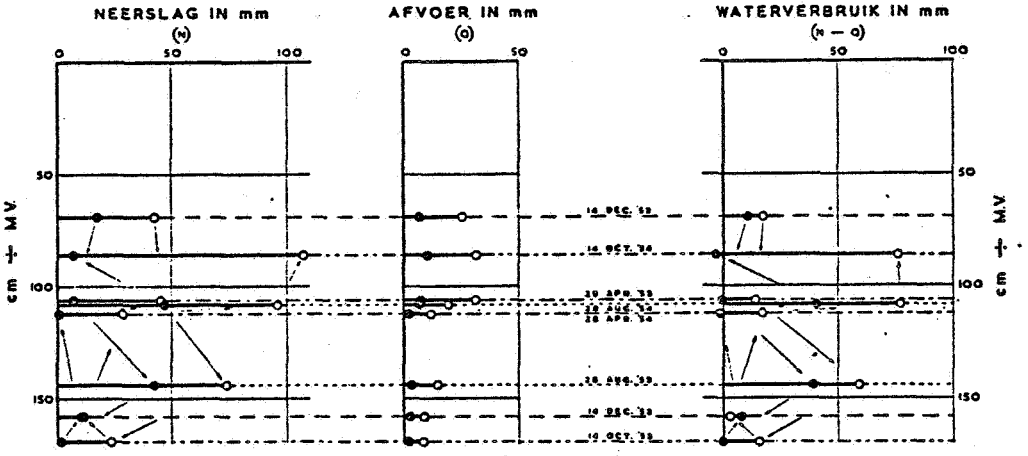
14. *Ratio between the real evapo-transpiration (calculated according to* PENMAN'S *method) and the use of water calculated as the difference between N and Q.*
Relation entre l'évapo-transpiration calculé d'après PENMAN *et la consommation d'eau, étant la différence entre N et Q.*

FIG. 15a-b. Grondwaterstanden. *Depth of the groundwater table. La profondeur du niveau de la nappe souterraine.*

FIG. 15a. Verband tussen de grondwaterstand en N, Q en N – Q in het stroomgebied van de Kleine en Groote Beerze.

Relation between the groundwater table and N, Q and N – Q in the basin of the Kleine en Groote Beerze.

Relation entre la nappe souterraine et N, Q, et N – Q dans le bassins des Kleine en Groote Beerze.

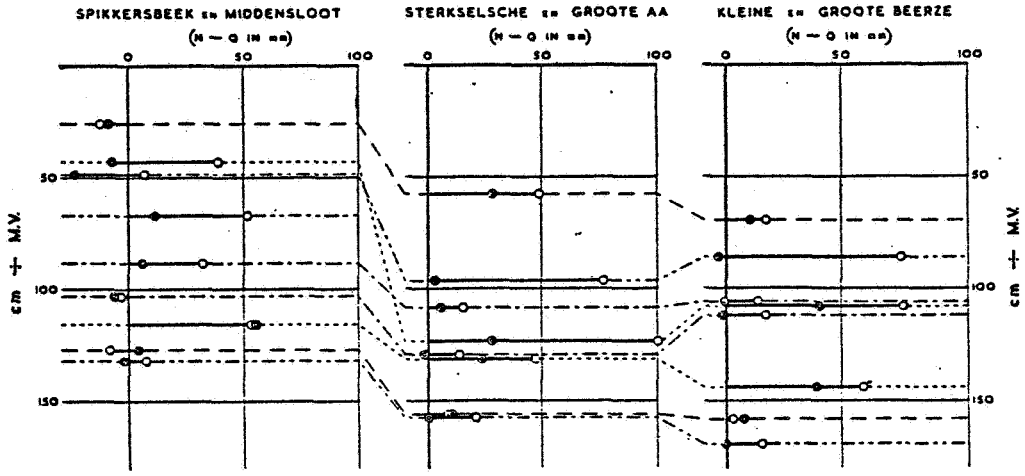


Neerslag	= *precipitation.* = *la précipitation.*	⊙ som 7 dagen ○ som 28 dagen	vóór aangegeven data.
Afvoer	= *discharge.* = *l'écoulement.*	⊙ *sum 7 days* ○ *sum 28 days*	*before the mentioned data.*
Waterverbruik	= *use of water.* = *la consommation d'eau.*	⊙ *somme de 7 jours* ○ *somme de 28 jours*	*précédant la date citée.*

FIG. 15b. Verband tussen de grondwaterstand en N – Q in de gebieden van de Spikkersbeek en Middensloot, de Groote en Sterkselsche Aa en de Kleine en Groote Beerze.

Relation between the groundwater level and N – Q in the basins of the Spikkersbeek en Middensloot, Groote en Sterkselsche Aa and Kleine en Groote Beerze.

Relation entre la nappe souterraine et N – Q dans les bassins des Spikkersbeek en Middensloot, Groote en Sterkselsche Aa, et Kleine en Groote Beerze.



M. V. = soil surface.

M. V. = surface de la terre.

DISCUSSIE

Ir. A. VOLKER:

1. Het verdient aanbeveling de gegevens die beschikbaar zijn over de waterbalans van de Wieringermeer (1930) en van de Noordoostpolder (1942) te vergelijken met de cijfers van ELINK STERK over de Haarlemmermeer, welke laatste werden gebruikt bij de bepaling van de potentiële evapotranspiratie.
2. De Dienst der Zuiderzeewerken heeft sedert 1948 afvoermetingen uitgevoerd in verschillende beken in het randgebied van de Veluwe langs de kust van het IJsselmeer. In dit gebied treedt een belangrijke kwel op (3 mm/etmaal); de grondwaterstanden zijn er hoog en vertonen slechts een geringe seizoensvariatie. Er zijn dus omstandigheden, die een ideale vochtvoorziening benaderen. Het zou dus belangwekkend zijn, de gegevens gevonden in deze gebieden te vergelijken met de uitkomsten van de berekeningen van ir. STOLP. Ik ben gaarne bereid deze gegevens daartoe ter beschikking te stellen.
3. In hoeverre is de berekende potentiële evapotranspiratie te vergelijken met de gemeten verdamping van het IJsselmeer, die veel hoger is?

ANTWOORD: (Ir. STOLP)

Ad 2. Inleider aanvaardt gaarne dit voorstel.

Ad 3. De cijfers van het IJsselmeer hebben betrekking op verdamping van vrij water. Het is bekend, dat de potentiële evapotranspiratie geringer is. De verhoudingsfactor varieert volgens PENMAN tussen 0,4 en 0,8, afhankelijk van gewas en jaargetijde. Volgens Nederlandse onderzoekingen kan deze factor tot 1,0 naderen, doch het jaargemiddelde zal steeds aanzienlijk kleiner zijn.

Ir. A. RIENKS:

1. In hoeverre is de mate waarin een stroomgebied is verbeterd van invloed op de totale afvoer in dit gebied?
2. Er is becijferd dat, indien bij beregening 150 mm water wordt toegevoerd, hiervan rond 80 mm voor een grotere evapotranspiratie nodig is en 70 mm indirect weer als zakwater aan het grondwater ten goede komt. Kan deze 70 mm wederom worden gebruikt bij systematische toepassing van beregening of gaat zij verloren?

ANTWOORD: Ad. 1. (Ir. LATOUR)

De invloed, welke de verbetering van een stroomgebied uitoefent op de totale afvoer van het gebied kan nog niet in concrete cijfers worden uitgedrukt. Te dien aanzien zijn nl. in geen enkel geval voor een en hetzelfde gebied voldoende gegevens ter beschikking om het verloop van de afvoer vóór en na de verbetering onderling te kunnen vergelijken. Het vergelijken van de afvoer van een niet-verbeterd gebied met die, welke optreedt in een ander verbeterd gebied is een riskante onderneming, gezien het feit, dat enerzijds onder gelijke omstandigheden de afvoerverhoudingen in 2 stroomgebieden van elkaar kunnen afwijken, terwijl het anderzijds niet vast staat, dat door het op dezelfde wijze verbeteren van 2 verschillende stroomgebieden, de afvoer van deze gebieden in dezelfde mate beïnvloed zullen worden.

Ad. 2. (Ir. STOLP)

De grotere hoeveelheid zakwater is een gevolg van de onregelmatige verdeling van de neerslag over het groeiseizoen. Met de wisselvalligheid daarvan kan bij de beregening nauwelijks rekening worden gehouden. Aangezien dit zakwater geen aanleiding zal geven tot een verhoogde afvoer, komt het indirect aan de waterbalans ten goede en kan het dus in zekere zin geheel weer worden benut.

Prof. KRUL:

1. De gegevens, waarop de waterbalansen berusten, zouden nauwkeurige verificatie kunnen behoeven in de gebieden waarop men de cijfers toepast. Vormen hierbij lysimeters niet het aangewezen hulpmiddel en zou de Werkgroep Lysimeters T.N.O. daar geen taak kunnen zien?
2. Spreker is uitgegaan van de veronderstelling dat het zand in de beschouwde gebieden maximaal 12 % vocht bevat. Waarop berust dit?

ANTWOORD: Ad 1. (Ir. STOLP)

Het is gewenst de berekeningen en metingen voor grotere gebieden met wisselend vruchtgebruik uit te voeren. Lysimeters, waarbij „gemiddelde" omstandigheden heersen, zouden dan onhandelbaar groot worden.

Ad 2.

Gesteld werd: 12 vol. % *beschikbaar* vocht bij veldcapaciteit, nl. het verschil tussen 18 vol. % bij veldcapaciteit (absoluut) en het vochtgehalte (6 vol. %) bij verwelking.

Ir. A. J. HELLINGS:

Bij de berekening van ir. STOLP van de hoeveelheid extra zakwater door beregening is uitgegaan van een aanvulling van het gehele doorwortelde profiel tot veldcapaciteit. De praktijk geeft zelden meer dan 20 mm per keer. Zou het daarom niet juist zijn, hierop de berekening van de hoeveelheid zakwater te baseren?

ANTWOORD: (Ir. STOLP)

Het lijkt inderdaad plausibel van de gesignaleerde praktijkgewoonte uit te gaan. Deze gewoonte kan echter op twee manieren geïnterpreteerd worden:

1. Er wordt steeds beregend als de totale hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone slechts ten dele (nl. 20 mm) is verbruikt. Beregening met 20 mm brengt het profiel dan toch weer op veldcapaciteit. De groei van de gewassen zal op de beschouwde zandgronden op deze handelwijze in het algemeen gunstig reageren. De hoeveelheid zakwater zal er echter door vergroot worden, omdat de onregelmatigheid in de neerslag bij deze grotere beregeningsfrequentie een sterkere invloed krijgt.
2. Het uitgedroogde profiel wordt slechts ten dele bevochtigd; de bovenste lagen worden op veldcapaciteit gebracht, daaronder blijft het droog.

Afgezien van de vraag of deze praktijk steeds efficiënt is, onder meer in verband met de bewortelingshabitus van de gewassen en de noodzaak om bij aanhoudende droogte wederom te moeten beregenen, zal er meer profijt getrokken kunnen worden van de natuurlijke neerslag, die na een kunstmatige beregening optreedt; de hoeveelheid zakwater zal daarmede afnemen.

Drs. P. BRUIN:

1. De overeenkomst tussen de gemeten afvoer en de berekende afvoer is in twee van de drie gegeven gevallen treffend. Werd in deze beide gevallen de begroeiing van de beken kritisch bekeken, zoals dat ook in het derde geval is gedaan? Zijn de inleiders door deze goede overeenstemming optimistisch of beschouwen ze haar als toevallig?
2. Het treft evenzeer, dat het door ir. STOLP berekende verschil tussen potentiële en reële evapotranspiratie, welk verschil door beregening zou moeten worden aangevuld, zo goed klopt met hetgeen ir. BAARS als resultaat van rechtstreekse metingen bij het beregeningsonderzoek vermeldt. Leidt een vochtvoorziening, waarbij de reële evapotranspiratie gelijk is aan de potentiële, tot optimale opbrengsten?

ANTWOORD: Ad 1. (Ir. LATOUR)

Voor de stroomgebieden, welke in Noord-Brabant zijn gelegen, staan zeer weinig gegevens inzake de begroeiingstoestand ter beschikking. Het verschil in afvoer tussen enerzijds de stroomgebieden van de Middensloot en de Spikkersbeek en anderzijds de Noord-Brabantse gebieden kan naar dezerzijdse mening niet aan de begroeiing geweten worden. Andere – voorshands onbekende – factoren spelen hier blijkbaar een rol. Voor zover er overeenstemming bestaat tussen de langs verschillende wegen berekende cijfers voor het waterverbruik c.q. voor de waterafvoer geeft zulks ongetwijfeld reden tot een verantwoord optimisme.

Ad 2. (Ir. STOLP)

De proeven, die de laatste jaren op dit terrein met tuinbouwgewassen genomen werden, leren dat de hoogste opbrengsten inderdaad bij ruime watervoorziening worden bereikt. Of dit steeds economisch is, kan hier niet worden beoordeeld.

II. DE INVLOED VAN GRONDWATERONTTREKKING TEN BEHOEVE VAN KUNSTMATIGE BEREGENING VAN ZANDGRONDEN OP DE STIJGHOOGTE VAN HET GRONDWATER

B. A. VAN NES

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

1. Inleiding

Ten einde een optimale watervoorziening van de gewassen te bevorderen wordt op hoge zandgronden in sommige gevallen kunstmatige beregening toegepast. Een kenmerk van deze hoge gronden is, dat een open afwatering ontbreekt. Het voor de beregening noodzakelijke water wordt door pompputten aan de bodem onttrokken. Door deze onttrekking zal de grondwaterstand dalen en wegens het ontbreken van open water zal de invloed op de grondwaterstand zich tot op grote afstand van het punt van onttrekking doen gevoelen.

Nu is het zo, dat beregening veelal zal worden toegepast in gebieden, waar het freatisch vlak zo diep beneden maaiveld is gelegen, dat de watervoorziening van de gewassen onafhankelijk is van de stijghoogte van het grondwater. De niet beregende percelen op deze hoge gronden zullen dus geen schade ondervinden van een nog wat lagere grondwaterstand, veroorzaakt door de grondwateronttrekking ten behoeve van de beregende percelen.

Ter weerszijden van de hoge gronden bevinden zich echter gebieden, waar de grondwaterstand wel degelijk van belang is voor de gewassen. De potentiaalverlaging van het grondwater, veroorzaakt door de onttrekking in de hoge gronden, zal zich – weliswaar in sterke mate verzwakt – ook doen gevoelen in de lage gronden. De vraag rijst in hoeverre een betere watervoorziening van de hoge gronden van schadelijke invloed kan zijn voor de lage gronden en deze vraag klemt des te meer naarmate de beregening van de hoge gronden op groter schaal zal worden toegepast.

Een algemeen geldend antwoord zal uit de aard der zaak niet kunnen worden gegeven, daarvoor is het vraagstuk te veel gebonden aan plaatselijke omstandigheden. Toch zou het nuttig zijn voor een theoretisch geval eens na te gaan welke daling van de grondwaterstand kan worden verwacht in de lage gebieden bij toepassing van kunstmatige beregening op de hoge gronden.

2. Het natuurlijke grondwaterstroomveld

Stel, dat de ondergrond van het beschouwde gebied bestaat uit een zandpakket ter dikte D met een doorlaatcoëfficiënt k. De doorlaatfactor van dit pakket bedraagt dan kD. Het zandpakket rust op een ondoorlatende basis. De „nuttige neerslag", dat is het deel van de regen, dat niet door de verdamping van bodem en plantengroei wordt verbruikt, maar ten slotte het freatische grondwater bereikt en dit aldus aanvult, zal ondergronds worden afgevoerd naar de rand van het grondwaterstroomveld en daar als oppervlaktewater aan de dag treden. De hoogteligging van het freatische vlak wordt bepaald door de hoeveelheid nuttige neerslag, de doorlaatfactor van het zandpakket en de begrenzing van het stroomveld.

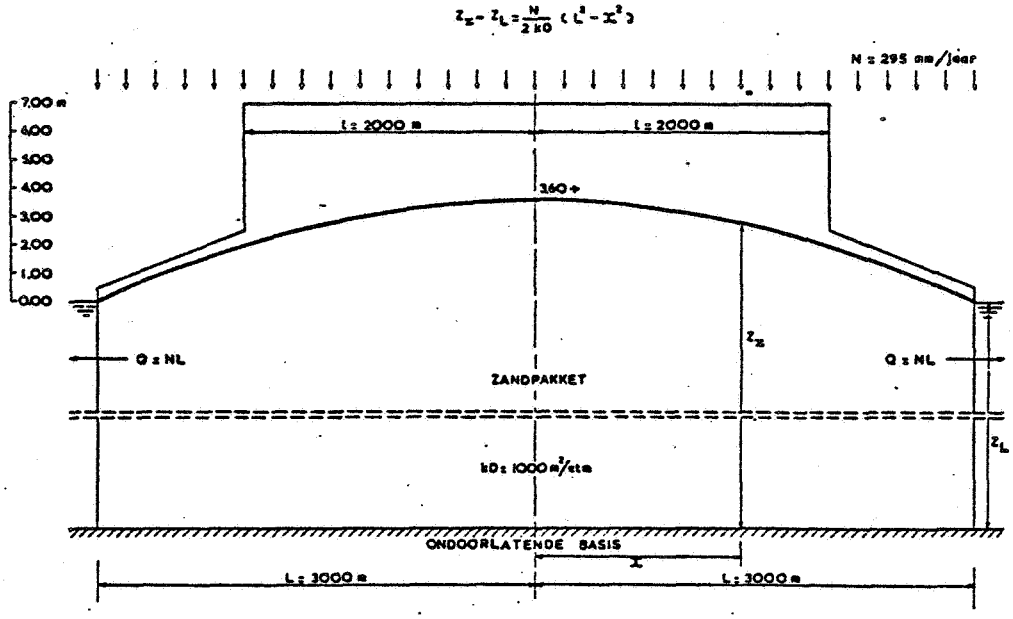
Indien aangenomen wordt dat de grenzen van het stroomveld worden gevormd door twee evenwijdige kanalen, dan lijkt deze veronderstelling het meest op de in de praktijk veel voorkomende situatie, waarbij het te beregenen gebied ter weerszijden ondergronds afwatert op twee min of meer parallel stromende beken.

Tevens is aangenomen dat de bodem van het open water, dat door de grondwaterstroom wordt gevoed, reikt tot aan de ondoorlatende basis van het zandpakket, waardoor de rekenkundige complicatie wordt vermeden van de zg. „intreeweerstand", veroorzaakt door de contractie van de stroombanen in het wijde doorstroomprofiel van het zandpakket tot het nauwe doorstroomprofiel van een niet tot de ondoorlatende basis reikende beekbodem.

Figuur 1 geeft een dwarsdoorsnede van het aldus aangenomen stroomveld. Noemt men de „nuttige neerslag" N en de halve breedte van het veld L, dan zullen dus de open wateren ter weerszijden van het stroomveld gevoed worden met een waterhoeveelheid $Q = NL$. Het verhang van de grondwaterstroom kan worden uitgedrukt in de formule:

$$z_x - z_L = \frac{N}{2kD}(L^2 - x^2)$$

FIG. 1. Freatische verhanglijn in een zandpakket, aan de zijden begrensd door twee evenwijdige kanalen, en aan de onderkant door een ondoorlatende laag.



F G. 1. *The watertable gradient in a sand layer, sideways limited by two parallel canals and at the b'inottom by an impermeable layer.*
L uclinaison du niveau de la nappe souterraine dans u n paquet de sable de coté li mité par dex canaux parallèles et en bas par une couche imperméable.

Deze verhanglijn zouden wij constateren in het geval van een stationaire grondwaterbeweging, dus indien de factor N steeds dezelfde waarde had. Dit is echter geenszins het geval. De hoogteligging van het freatisch vlak varieert in sterke mate met de seizoenen en uit de aard der zaak het sterkst in het midden van het stroomveld.

3. Het kunstmatige grondwaterstroomveld

Voor het onderhavige probleem, nl. de verlaging van de grondwaterstand onder invloed van de onttrekking van grondwater ten behoeve van beregening, zijn de natuurlijke fluctuaties van het freatisch vlak van geen belang, aangezien het door de wateronttrekking opgewekte kunstmatige grondwaterstroomveld als gesuperponeerd kan worden beschouwd op het door de neerslag veroorzaakte natuurlijke stroomveld. De verlaging van de grondwaterstand door de wateronttrekking kan dus geheel onafkankelijk van de fluctuaties in het natuurlijke grondwaterstroomveld worden berekend.

Bij beregening van de gewassen zal de voeding van het grondwater per eenheid van beregende oppervlakte verminderen met een schijf water, waarvan de dikte B kan worden bepaald uit de betrekking:

B = potentiële evapotranspiratie — reële evapotranspiratie + extra verdampingsverliezen.

De potentiële evapotranspiratie bedraagt 565 mm/jaar;
de reële evapotranspiratie bedroeg gemiddeld voor de jaren 1901–1950 489 mm/jaar;
de extra verdampingsverliezen ten gevolge van de beregening kunnen worden geschat op 10 mm/jaar.
B bedraagt dus gemiddeld 86 mm/jaar [1].

Noemt men de halve breedte van het te beregenen gebied 1, dan zal dus de voeding van de beken ter weerszijden van het stroomveld verminderen met B 1.

Voor het kunstmatige stroomveld (zie figuur 2a), waarin de verlaging van de grondwaterstand wordt berekend, betekent dit dus dat aan de randen hiervan een voeding plaats vindt ter grootte B 1, welke waterhoeveelheid in het te beregenen gebied weder aan de bodem wordt onttrokken.

Het verhang van het grondwater in het kunstmatige stroomveld kan worden uitgedrukt in de formule:

$$z_x = \frac{B\,1}{kD}(L - x)$$

voor het gedeelte van het stroomveld tussen x = L en x = 1, en door:

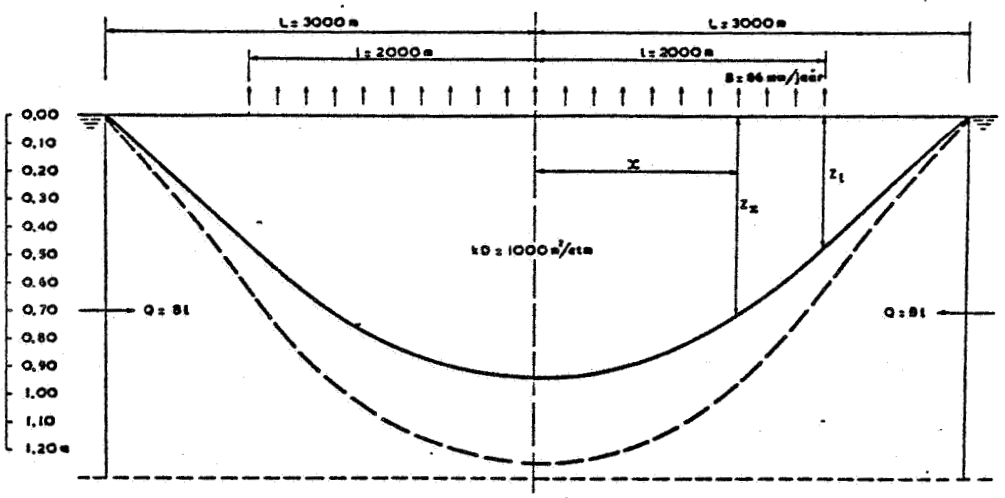
$$z_x - z_1 = \frac{B}{2kD}(1^2 - x^2)$$

voor het gedeelte van het stroomveld tussen x = 1 en x = 0.

---

[1] De door de pompputten onttrokken waterhoeveelheid is groter dan 0,086 m³/jaar/m² beregend oppervlak. Een gedeelte van het beregeningswater zal echter weer het grondwater voeden. B stelt dus de nettovermindering van de voeding van het grondwater voor.

FIG. 2a. Potentiaalverlaging van het grondwater ten gevolge van wateronttrekking voor beregening.



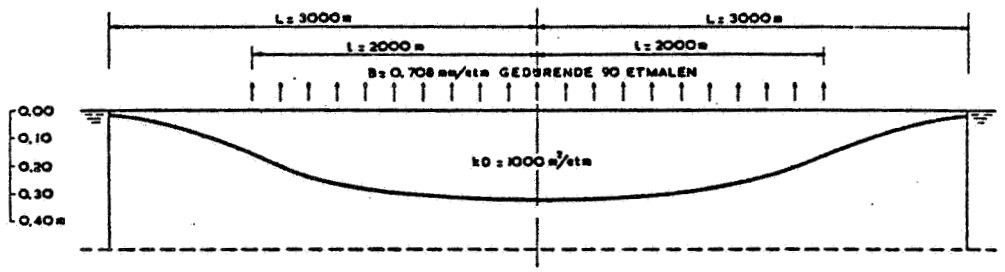
VERKLARING

——— potentiaalverlaging bij stationaire grondwaterbeweging.

— — — potentiaalverlaging bij niet-stationaire grondwaterbeweging.

FIG. 2a. *Lowering of the groundwatertable, as a result of the extraction of water for sprinkling.*
L'abaissement de la nappe phréatique résultant de l'extraction d'eau souterraine pour l'arrosage.

FIG. 2b. Niet-stationaire grondwaterbeweging.



VERKLARING

——— potentiaalverlaging bij een grondwateronttrekking van $0{,}708.10^{-3}$ m³/etm. per m² beregend gebied gedurende 90 etmalen.

FIG. 2b. *Non-stationary groundwater flow.*
Courant d'eau souterraine non-stationnaire.

4. NIET-STATIONAIRE GRONDWATERBEWEGING IN HET KUNSTMATIGE STROOMVELD

De bovenbedoelde verhanglijn zou kunnen worden verwacht in het geval van een stationaire stroming, dus indien de waterhoeveelheid B van 86 mm/jaar of 0,236 mm/etmaal gelijkmatig over het jaar verdeeld werd onttrokken. In het algemeen echter zal de beregening zich afspelen binnen een periode van drie maanden of 90 etmalen. Gedurende die tijd zal de wateronttrekking dus niet 0,236 mm/etmaal bedragen, maar 4 × 0,236 mm/etmaal. Boven het gemiddelde zal dus een waterhoeveelheid van 3 × 0,236 mm/etmaal worden onttrokken of $0{,}708.10^{-3}$ m³/etm./m² beregend oppervlak, indien een strook van het stroomveld in beschouwing wordt genomen ter dikte van 1 m.

De berekening van de verlaging van het freatisch vlak bij niet-stationaire grondwaterbeweging kan geschieden met behulp van de door EDELMAN [1] in zijn proefschrift ontwikkelde formules.

Stel, dat in een zandpakket van oneindige uitgestrektheid, dat aan de onderzijde wordt begrensd door een ondoorlatende laag, wateronttrekking plaats vindt in een verticaal vlak. Wederom wordt een strook van het stroomveld in beschouwing genomen ter dikte van 1 m. De wateronttrekking aan het vertikale vlak in deze strook bedraagt Q_0 m³/etm.

Vóór het begin van de wateronttrekking was de grondwaterspiegel horizontaal. Aangezien het pakket niet wordt gevoed, zal ten gevolge van de wateronttrekking de grondwaterstand steeds verder dalen. De ter plaatse van het verticale vlak onttrokken waterhoeveelheid wordt dus geleverd door het bij de daling van het freatisch vlak beschikbaar komende, in de poriën tussen de zandkorrels geborgen grondwater.

De potentiaalverlaging φ_x op een afstand x van het verticale vlak na T etmalen kan worden uitgedrukt in de formule:

$$\varphi_x = \left(\frac{T}{\mu k D}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{Q_0}{2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} - 2u\left(1 - E(u)\right)\right]$$

waarin:

$$u = \frac{x}{2\left(\frac{kD}{\mu} T\right)^{\frac{1}{2}}}$$

In deze formules is:

μ = de uitleveringscoëfficiënt = de per eenheid van oppervlak per eenheid van potentiaalverlaging vrijkomende grondwaterhoeveelheid;

kD = de doorlaatfactor van het zandpakket;

E(u) = de foutenintegraal en

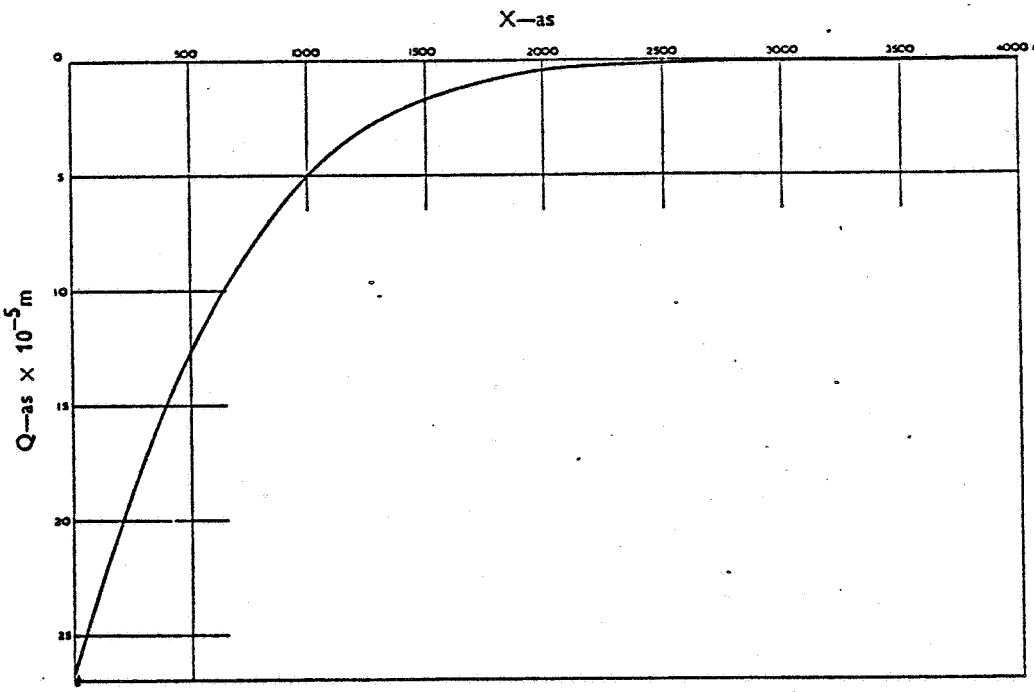
$\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u}$ = de eerste afgeleide hiervan.

De waarde van kD = 1000 m²/etm.; voor μ is een waarde aangenomen van 0,20.

---

[1] J. H. EDELMAN: „Over de berekening van grondwaterstromingen". Dissertatie Delft 1947.

FIG. 3. Potentiaalverlaging van het grondwater ten tijde T ten gevolge van een wateronttrekking Q_0/m^1 in een verticale doorsnede van een zandpakket, dat zich oneindig ver uitstrekt en aan de onderzijde wordt begrensd door een ondoorlatende laag.



$$\varphi_x = \left(\frac{T}{\mu k D}\right)^{1/2} \frac{Q_0}{2}\left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} - 2u \left\{1 - E(u)\right\}\right]$$

$$U = \frac{X}{2\left(\frac{kD}{\mu} T\right)^{1/2}}$$

$Q_0 = 0{,}708.10^{-3}$ m³/etm

$T = 90$ etm

$\mu = 0{,}20$

$kD = 1000$ m²/etm

FIG. 3. *Lowering of the groundwater table in a vertical section of a sand layer after 90 days. L'abaissement de la nappe phréatique dans une section verticale d'un paquet de sable après 90 jours.*

In figuur 3 zijn de potentiaalverlagingen getekend, die zullen optreden na 90 etmalen, indien in een verticaal vlak een waterhoeveelheid wordt gewonnen, die gelijk is aan de per eenheid van oppervlak in het beregende gebied boven de gemiddelde hoeveelheid onttrokken grondwater. Q_0 is dus $0{,}708.10^{-3}$ m³/etm.

In figuur 3 kan men dus aflezen de potentiaalverlaging in het vlak, waarin de wateronttrekking geschiedt, en de potentiaalverlagingen onder invloed van deze onttrekking in alle punten van het stroomveld.

Indien in een tweede verticaal vlak op een afstand x van het eerste, eenzelfde wateronttrekking zou plaats vinden, dan zal onder invloed hiervan de potentiaalverlaging in het eerste verticale vlak toenemen met Φ_x.

Indien voor elke m² beregend oppervlak de onttrekking plaats vindt in een dergelijk verticaal vlak, dan zal in ieder punt van het stroomveld de totale potentiaalverlaging gelijk zijn aan de som van alle verlagingen, die daar ter plaatse optreden onder invloed van de wateronttrekking aan elk vlak afzonderlijk. Deze totale verlaging wordt dus in figuur 3 voor een punt buiten het beregende gebied gerepresenteerd door het oppervlak van deze figuur, begrepen tussen de grenzen x_1 en x_2, die respectievelijk de afstand voorstellen van het beschouwde punt tot de beide randen van het beregende gebied.

Voor een punt binnen het beregende gebied wordt de totale potentiaalverlaging in figuur 3 gerepresenteerd door de som van de oppervlakken in deze figuur tussen de grenzen 0 en x_1, respectievelijk 0 en x_2, waarbij x_1 en x_2 wederom de afstand voorstellen van het beschouwde punt tot de beide randen van het beregende gebied.

Met behulp van figuur 3 kan dus voor ieder punt van het stroomveld de onder invloed van een wateronttrekking van $0{,}708.10^{-3}$ m³/etm./m¹ in het beregende gebied optredende potentiaalverlaging worden bepaald. Het resultaat van deze bewerking is afgebeeld in figuur 2b.

Uit de figuur blijkt, dat aan de randen van het stroomveld een kleine potentiaalverlaging optreedt, hetgeen natuurlijk in feite niet mogelijk is, aangezien het stroomveld wordt begrensd door open water. Deze anomalie wordt veroorzaakt door de omstandigheid, dat het stroomveld zich in werkelijkheid niet oneindig ver uitstrekt, zoals in de gebruikte formule wordt verondersteld. De onttrokken waterhoeveelheid zal dus niet geheel door het veld zelf worden geleverd; een zeer geringe voeding zal uit het open water plaats vinden. In werkelijkheid zullen de potentiaalverlagingen dus iets geringer zijn.

5. De superpositie van de niet-stationaire grondwaterbeweging op de stationaire grondwaterbeweging in het kunstmatige stroomveld

In figuur 2a is de verhanglijn van het grondwater getekend voor de stationaire grondwaterbeweging, waarbij de onttrokken waterhoeveelheid in het beregende gebied 86 mm/jaar of gemiddeld $0{,}236.10^{-3}$ m³/etm./m¹ bedroeg. In werkelijkheid zullen de potentiaalverlagingen om deze lijn fluctueren. Als de totale hoeveelheid in drie maanden wordt onttrokken, zal gedurende 3/12 of 1/4 van de tijd de potentiaalverlaging van het grondwater groter zijn dan de gemiddelde en gedurende 3/4 van de tijd kleiner dan de gemiddelde. De laagste grondwaterstand beneden het gemiddelde zal dan ongeveer 3/4 van de totale fluctuatie bedragen en de hoogste grondwaterstand boven het gemiddelde 1/4 van de totale fluctuatie. Dit hoogste punt van de grondwaterstand wordt bereikt aan het begin van de beregeningsperiode. Op dat moment begint de daling van de grondwaterstand onder invloed van een wateronttrekking in het beregende gebied van 0,708 m³/etm./m¹ boven de gemiddeld onttrokken hoeveelheid. Na drie maanden zal het laagste punt van de grondwaterstand zijn bereikt.

De grootste verlaging van de grondwaterstand onder invloed van de wateronttrekking ten behoeve van de beregening vindt men dus door bij de in figuur 2a getekende gemiddelde potentiaalverlagingen de in figuur 2b getekende potentiaalverlagingen op te tellen.

6. Resultaten van de berekening

Op de grens tussen het beregende en niet-beregende gebied zal dus een potentiaalverlaging van het grondwater optreden, die aan het einde van het beregeningsseizoen rond 0,60 m zal bedragen. Naar de rand van het stroomveld neemt deze potentiaalverlaging geleidelijk af tot nul. De beregening van het centrale hoge gebied kan dus schadelijke gevolgen hebben voor de gewassen in het randgebied.

In de berekening is aangenomen, dat het gehele hoge gebied wordt beregend. Praktisch zal dit niet het geval zijn, waardoor de potentiaalverlagingen geringer zullen zijn.

Hier staat echter tegenover, dat in de berekening voor B de gemiddelde waarde is ingevoerd over een reeks van jaren. Het verschil tussen de potentiële en reële evapotranspiratie zou echter gedurende een aantal achtereenvolgende jaren wel eens aanmerkelijk groter kunnen zijn dan de gemiddelde waarde, hetgeen tot grotere potentiaalverlagingen zal leiden dan de berekende. In dergelijke jaren zal de natuurlijke grondwaterstand eveneens beneden de gemiddelde zijn gelegen, zodat de bezwaren, die de randgebieden van de beregening van de hoge gronden ondervinden, des te meer gaan klemmen.

7. Fluctuaties van de hoeveelheden opgepompt grondwater tijdens de maanden waarin beregening plaats vindt

Ten slotte moet nog de vraag onder de ogen worden gezien of de concentratie van de kunstmatige beregening op enkele dagen van het beregeningsseizoen van invloed zal zijn op de stijghoogte van het grondwater in de randgebieden.

De beregening in het droge seizoen zal niet continu geschieden, doch verdeeld in een aantal watergiften per hectare. In het algemeen zullen de percelen niet allemaal op dezelfde dag worden beregend, maar zelfs indien dit het geval zou zijn, zal de invloed hiervan op de stijghoogte van het grondwater in de randgebieden weinig te betekenen hebben, aangezien de op deze topdagen boven het gemiddelde quantum op te pompen waterhoeveelheden door het veld zelf worden geleverd en blijkens de voorgaande berekeningen de invloed van de niet-stationaire grondwaterbeweging klein is ten opzichte van de grondwaterstandverlagingen, die door de stationaire grondwaterbeweging worden veroorzaakt.

8. Slotbeschouwingen

De hierboven gegeven cijfers betreffende de verlaging van de grondwaterstand in de randgebieden gelden uit de aard der zaak alleen voor het gegeven rekenvoorbeeld.

Uit de formules blijkt wel wat de invloed is van de diverse factoren, die voor het onderhavige vraagstuk van belang zijn.

Het gekozen schema voor het stroomveld zal ook niet steeds toegepast kunnen worden in verband met de in werkelijkheid bestaande grenzen van het stroomveld en de geologische opbouw van de ondergrond. Wat dit laatste betreft kan nog worden opgemerkt, dat het van ondergeschikte betekenis is of het beschouwde zandpakket homogeen van samenstelling is, dan wel – zoals in feite vaak het geval is – de grovere, goed waterdoorlatende lagen worden afgedekt door een fijnzandig, eventueel leemhoudend, minder goed waterdoorlatend pakket. Immers, in deze fijne afdekkende lagen zal watertransport in horizontale zin over grote afstanden niet plaats kunnen vinden, aangezien de weerstand te groot is. De gevormde nuttige neerslag zal langs in hoofdzaak verticale stroombanen afvloeien naar het dieper gelegen grovere zandpakket en hierin in horizontale richting worden afgevoerd naar de rand van het stroomveld. Het drukverschil tussen de stijghoogte van het grondwater in de fijne afdekkende zanden en in het grove pakket is een maat voor de weerstand, die de nuttige neerslag bij infiltratie ondervindt.

In de niet-beregende randgebieden zal de voeding van het grondwater door de nuttige neerslag geen verandering ondergaan als gevolg van de beregening van de hoge gronden; het drukverschil tussen de stijghoogte van het grondwater in de afdekkende lagen en in het grove zandpakket zal dus ongewijzigd blijven. De onder invloed van de wateronttrekking ten behoeve van de beregening van de hoge gronden in de randgebieden optredende potentiaalverlaging van het diepe grondwater zal dus worden gevolgd door een even grote verlaging van het freatisch vlak.

In het hier bedoelde geval kan de voor een homogeen pakket gevolgde berekeningsmethode dus eveneens worden toegepast.

9. Conclusie

Ten slotte kan aan het bovenstaande de volgende conclusie worden verbonden.

Indien kunstmatige beregening van hoge zandgronden op uitgebreide schaal zal worden toegepast, zullen in de randgebieden in het algemeen maatregelen moeten worden getroffen om aldaar schade aan de gewassen te voorkomen.

De mate waarin zulks noodzakelijk zal zijn moet van geval tot geval worden onderzocht.

10. Samenvatting

Bij onttrekking van grondwater ten behoeve van kunstmatige beregening van zandgronden wordt de op te pompen waterhoeveelheid bepaald door het verschil tussen de potentiële en de reële evapotranspiratie van deze gronden, vermeerderd met de ten gevolge van de beregening optredende extra verdampingsverliezen.

Aangezien deze waterhoeveelheid ten koste gaat van de in de ondergrond van het beschouwde gebied naar de randen van het stroomveld afvloeiende hoeveelheid grondwater zal de grondwaterstand een daling ondergaan. Deze daling zal maximaal zijn

in het centrum van de grondwateronttrekking en geleidelijk te niet lopen aan de rand van het grondwaterstroomveld.

Beregening zal in de regel plaatsvinden op de hogere gronden in het centrale gedeelte van het grondwaterstroomveld, waar de grondwaterstand het diepst beneden maaiveld is gelegen en de watervoorziening van de gewassen onafhankelijk is van de grondwaterstand. De vraag wordt onder de ogen gezien in welke mate de grondwateronttrekking ten behoeve van de beregening van de hoge centrale gebieden van invloed is op de stijghoogte van het grondwater in de lager gelegen randgebieden van het grondwaterstroomveld, waar de cultures wel afhankelijk zijn van de grondwaterstand.

DISCUSSIE

Dr. ir. P. C. LINDENBERGH:

Met grote belangstelling heb ik de inleiding van de heer VAN NES gevolgd. Hetgeen ik hier zeg moet niet zozeer als een aanmerking op zijn betoog worden beschouwd, doch als een aanvulling op zijn berekeningen. Ik weet uit ervaring, dat de meeste agrariërs geneigd zijn te denken, dat de gemiddelde grondwaterstand op den duur niet wordt beïnvloed door een onttrekking van water aan de bodem, welke alleen in de zomer voor bevloeiing alsook voor beregening plaatsvindt. Dit is onjuist, zoals dit uit de berekeningen van de heer VAN NES blijkt.
We kunnen het nog eenvoudiger stellen door gewoon het aan de bodem onttrokken water van de gemiddelde nuttige neerslag af te trekken en op die manier een nieuwe lijn te berekenen. De lage fluctuaties worden groter.
Bovendien zou ik er op willen attenderen, dat, indien we meer naar de zeekant gaan, door een blijvende verlaging van de potentiaal in de bodem de verzilting van het grondwater in de hand wordt gewerkt. Er zullen zich zeker gevallen voordoen, waarbij met dit feit ernstig rekening moet worden gehouden. In dit verband wijs ik op de ervaringen in Californië. Daar worden voor bevloeiingsdoeleinden grote hoeveelheden aan de bodem onttrokken, hetgeen op den duur geleid heeft tot verzilting van het grondwater en afsterven van grote boomgaarden op sommige plaatsen.

ANTWOORD: Ik ben het geheel met spreker eens.

Ir. A. VOLKER:

Het komt mij voor, dat het door de inleider gebruikte schema beperkte praktische geldigheid heeft. Ik vraag mij af, welke dalingen zullen optreden wanneer in een uitstrekt gebied, zoals b.v. de Veluwe, water ten behoeve van beregening aan het grondwater wordt onttrokken.
Ik verwijs naar de berekeningen in het Veluwe-rapport (Commissie VAN DISSEL). In een dergelijk geval mag zeker niet worden aangenomen, dat het open water aan de randen reikt tot de ondoorlatende basis.
Voorts wil ik er nog op wijzen, dat veelal aan de randen van een gebied van hoge gronden opkwelling van grondwater optreedt en afsluitende lagen aanwezig zijn. Hier zal de daling van het freatisch vlak kleiner zijn dan uit de berekeningen van de inleider – voor zover hier gepresenteerd – zou volgen.

ANTWOORD: Ik moge verwijzen naar het door mij gestelde in 2, 3e alinea en 8, 2e alinea; met opzet is het rekenkundige schema zo eenvoudig mogelijk gehouden.

Ir. S. HERWEIJER:

Na de inleiding van ir. VAN NES zou ik gaarne van ir. STOLP vernemen, of hij van mening is dat het standpunt door hem en ir. MOHRMANN [1] ingenomen ter zake van de aanvulling van het grondwater in de winter herziening behoeft. Dit standpunt lijkt optimistischer dan dat van ir. VAN NES. Het is uitermate belangrijk, dat over deze kwestie van de aanvulling van het grondwater in de winter klaarheid komt.

---

[1] *Meded. Dir. Tuinb. 16* (1953) 797–810.

ANTWOORD: 1. (Ir. STOLP):

Bij bedoelde berekeningen is aangenomen dat 40 % van het droogtegevoelige gebied werd beregend, terwijl ir. VAN NES van 100 % is uitgegaan.

2. (Ir. VAN NES):

Er is mijns inziens geen principieel verschil van opvatting tussen hetgeen ir. J. C. J. MOHRMANN en ir. D. W. STOLP hebben gepubliceerd en hetgeen door mij naar voren is gebracht. Dezerzijds is slechts wat dieper ingegaan op het niet-stationaire karakter van de onttrekking ten behoeve van de beregening en de gevolgen hiervan ten aanzien van de grondwaterstand in de „bedreigde gebieden".
Het zal van geval tot geval moeten worden onderzocht of de verlaging van de grondwaterstand aanleiding kan geven tot schade. Bij een situatie, als door mij behandeld, is het niet dubieus dat grondwateronttrekking in de zomer ten behoeve van beregening aanleiding zal geven tot permanent lagere grondwaterstanden.

Ir. W. C. VISSER:

1. Veel gebieden bezitten geen bovengronds afwateringssysteem. Slechts in de winter vindt daar bovengrondse afvoer door greppels plaats. Aan het eind van elk winterseizoen wordt daar dus met steeds dezelfde grondwaterstand begonnen.
2. Moet niet rekening worden gehouden met de daling van de waterstand in de beken?

ANTWOORD: 1. In het door mij gegeven schéma vindt ook in de wintermaanden geen bovengrondse afvoer plaats.
2. De beekdaling onder invloed van de verminderde grondwaterafvoer is zeer gering vergeleken bij de fluctuaties van de grondwaterstand.

III. VERHOGING VAN GRONDWATERSTANDEN EN VERMINDERING VAN AFVOER DOOR OPSTUWING VAN BEKEN

L. F. ERNST *

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.

Enkele belangrijke vragen, waarmede men bij het opstuwen van beken in het algemeen te maken krijgt, zijn de volgende.

1. Welke grondwaterstandsverhoging kan praktisch bereikt worden?
2. Hoelang duurt het voor deze grondwaterstandsverhoging bereikt is?
3. Hoeveel water moet hiervoor in totaal beschikbaar zijn?
4. Welk gedeelte van dit water wordt nuttig gebruikt (verdamping), welk gedeelte stroomt door de grond (en voor een klein deel ook over de stuwen) naar lagere gebieden, waar dit water minder gewenst is en in extreme gevallen zelfs schadelijk kan zijn?

Voor de berekening van de grondwaterstromingen, die hierbij een rol zal spelen, zijn de volgende gegevens gewenst:

1. Bodemvariabelen:
   a. Horizontale doorlatendheid kD
   b. Verticale weerstanden: c
   c. Radiale (intreed-)weerstanden: w
   d. Vrij poriëngehalte (bergend vermogen): p_0.

   De bodemvariabelen, die men ook wel bodemconstanten pleegt te noemen, omdat men ze moeilijk van waarde kan doen veranderen en deze eigenschappen daardoor vrijwel onafhankelijk van de tijd zijn (uitgezonderd p_0?), vertonen op korte afstand meestal grote verschillen. Voor een exacte oplossing zouden alle bodemlagen en alle doorlaatfactoren bekend moeten zijn. Dit is noch theoretisch noch praktisch mogelijk. De juiste weg is hier dan ook, dat men alleen de belangrijkste eigenschappen in de berekeningen tracht op te nemen en voor deze eigenschappen de gemiddelde waarde zoekt.
2. Wateronttrekking aan de grondwaterspiegel (capillaire opstijging). Afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid water en het gemiddelde tekort zal men dit van te voren willen vaststellen op een waarde, die meestal niet hoger is dan enkele millimeters per dag. Genoemde berekeningen zullen ten slotte moeten aantonen of een dergelijke toevoer of vermindering in de afvoer van het grondwater mogelijk is.
3. Gewenste grondwaterstandsdiepte. Deze varieert op zandgrond meestal van – 50 cm tot – 175 cm, afhankelijk van gewas en bodemtype. De belangrijkste bodemeigenschappen, die hierop van invloed zijn, zijn dikte van de humushoudende laag en grofheid van de zandondergrond.
4. Topografische gesteldheid. Doordat in het maaiveld op korte afstand steeds zekere hoogteverschillen voorkomen, is het niet mogelijk de vorm van de grondwaterspiegel hier volmaakt bij aan te passen.

---

* Thans: *Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.*

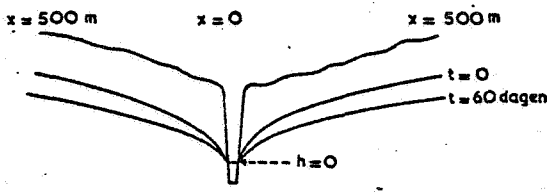


FIG. 1a. Ongestoorde toestand in het zomerhalfjaar met normale daling van freatisch vlak en constant beekpeil.($h_0 = 0$).

FIG. 1a. *Undisturbed state in summer half-year with a normal lowering of the phreatic surface and a constant level of the water in the brook.*
Etat tranquille en été avec une abaissement de la nappe phréatique normale et un niveau d'eau constant du ruisseau.

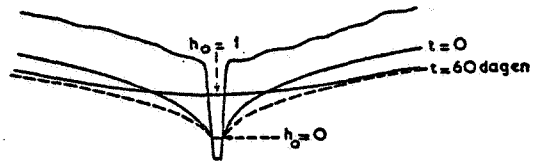


FIG. 1b. Verloop van de grondwaterspiegel indien vanaf t = 0 het beekpeil verhoogd wordt tot $h_0 = 1$.

FIG. 1b. *Change of the phreatic surface in the case the level of the water in the brook has been raised from $t = 0$ to $h_0 = 1$.*
Modification de la nappe phréatique en cas le niveau d'eau du ruisseau est élevé de $t = 0$ vers $h_0 = 1$.

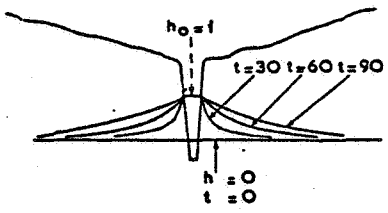


FIG. 1c. Storing, welke op figuur 1a moet worden gesuperponeerd om fig. 1b te krijgen.

FIG. 1c. *Disturbance to be taken into account in figure 1a to get figure 1b.*
Enfin d'obtenir la figure 1b il est nécessaire de transmettre la perturbation en figure 1a.

We beschouwen nu de opstuwing van een beek, waarvan het peil aan het begin van het zomerhalfjaar met een constant bedrag verhoogd wordt. Uit figuur 1 blijkt, dat het alleen nodig is de grondwaterstroming te berekenen, die met 1c overeenkomst (verschil van 1a en 1b). In figuur 1c zijn de invloeden verdwenen van klimaat, plantengroei en de peilbeheersing van de beek voor $t < 0$, welke invloeden de begintoestand mede gevormd hebben. Daar, zoals blijken zal, de grondwaterstandsverhoging zich slechts langzaam in de grond voortplant, mogen we om te beginnen wel veronderstellen, dat de gewenste grondwaterstand niet gehaald wordt en daar dus de onttrekking van water aan de grondwaterspiegel vrijwel niet verandert, stellen we in figuur 1c de capillaire opstijging C = 0. In figuur 1c zijn dan alleen nog belangrijk de peilverho-

ging van de beek (hier = 1 gesteld) en de eigenschappen van de bodem. Veronderstellen we de bodem homogeen en verder ter vereenvoudiging de radiale weerstand $w = 0$, dan blijven over de horizontale doorlatendheid (kD-waarde) en het bergend vermogen (p_0). De golfvoortplanting voldoet onder deze voorwaarde aan vergelijking (1). Deze vergelijking heeft een nog vrij eenvoudige vorm, daar we h/h_0 mogen zien als functie van $\frac{x}{2}\sqrt{\frac{p_0}{kDt}}$.

De voorwaarde $C = 0$ zouden we kunnen laten vervallen. Het is toch juist de bedoeling om door de opstuwing C te doen toenemen. In dit opzicht kunnen we geen veronderstellingen doen omtrent toevallige invloeden van klimaat of maaiveldhoogte. Wel heeft het zin om verband te zoeken tussen de toeneming van het waterverbruik en de verhoging van de grondwaterspiegel ten opzichte van de ongestoorde toestand. Indien we een lineair verband aannemen en wel $C / h = C_0/h_0$, dan kunnen we voor dit geval vergelijking (2) afleiden. Houden we daarentegen vast aan $C = 0$, maar nemen we nu $w \neq 0$, dan krijgen we vergelijking (3). De beide laatste vergelijkingen zijn vrij wat ingewikkelder, maar toch nog wel bruikbaar door een grafische uitzetting.

Golfvoortplanting bij verhoging van het stuwpeil met een constant bedrag h_0

$w = 0 \qquad C = 0$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{2a\sqrt{t}}}^{\infty} e^{-z^2}\, dz \qquad (1)$$

$w = 0 \qquad C = C_0 \frac{h}{h_0}$

$$\frac{h}{h_0} = \tfrac{1}{2}\left(e^{-gx} + e^{gx}\right) + \frac{e^{-gx}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ag\sqrt{t} - \frac{x}{2a\sqrt{t}}} e^{-z^2} dz - \frac{e^{gx}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ag\sqrt{t} + \frac{x}{2a\sqrt{t}}} e^{-z^2} dz \qquad (2)$$

$w \neq 0 \qquad C = 0$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\chi}{2\sqrt{\tau}}} e^{-z^2} dz + e^{\tau + \chi} \left\{ 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\chi}{2\sqrt{\tau}} + \sqrt{\tau}} e^{-z^2}\, dz \right\} \qquad (3)$$

Golfvoortplanting bij sinusvormig stuwpeil.

$h_0 = A \cos \frac{2\pi t}{T} \qquad w = 0 \qquad C = 0$

$$\frac{h}{A} = \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{x\sqrt{\pi}}{a\sqrt{T}}\right) e^{\frac{-x\sqrt{\pi}}{a\sqrt{T}}} \qquad (4)$$

Notatie

$a^2 = \frac{kD}{p_0}$

$g^2 = \frac{C_0}{kD\,h_0}$

$\chi = \frac{x}{2kDw}$

$\tau = \frac{t}{4p_0kDw^2}$

TABLE 1. *Wave-transmission by a raise of the weir-level with a constant amount of h_0. (1), (2) and (3). Transmission d'onde causée par une montée du niveau du déversoir par une augmentation constante h_0. (1), (2) et (3).*
Wave-transmission by a sinusoid level of the weir (4). Transmission d'onde causée par une modification en forme de sinus du niveau du déversoir (4).

FIG. 2. Waterschap „Stroomgebied van de Aa". Voortplanting in de grond van een plotselinge peilverandering in de Aa volgens vergelijking (1).
Geen verhoging van het waterverbruik door het gewas.
kD = 700 m²/dag; p_0 = 0,25.

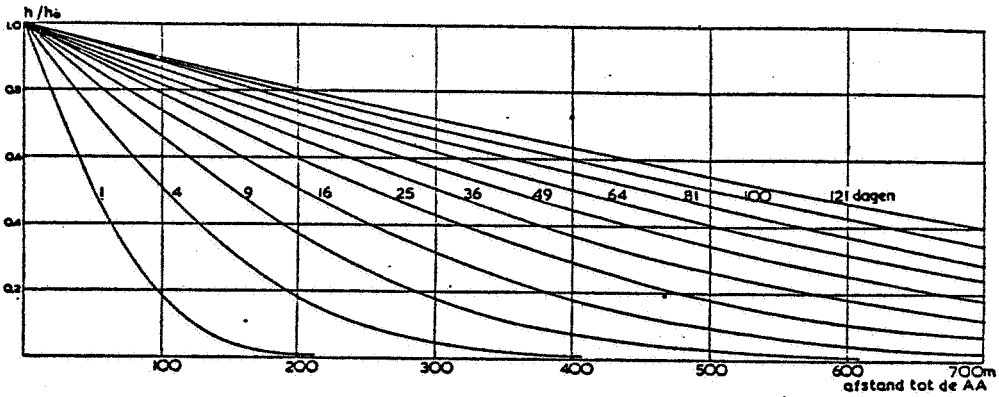


FIG. 2. *Transmission in the soil of a sudden change of the water-level of the Aa, according to formula (1).*
No increase of the consumption of water by the crop.
Transmission dans la terre d'une modification soudaine du niveau d'eau du ruisseau Aa d'après la formule (1).
La consommation d'eau de la récolte n'est pas augmentée.

FIG. 3. Waterschap „Stroomgebied van de Aa". Voortplanting in de grond van een plotselinge peilverandering in de Aa volgens vergelijking (2).
Verbruik van water door het gewas is toegenomen.
$C = 0{,}004 \frac{h}{h_0}$ m/dag; kD = 700 m²/dag; p_0 = 0,25.

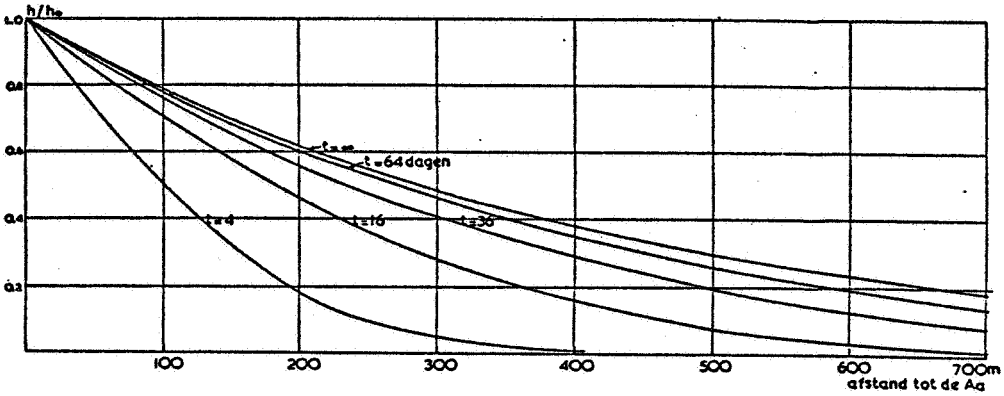


FIG. 3. *Transmission in the soil of a sudden change of the water-level of the Aa, according to formula (2).*
The consumption of water by the crop has increased.
Transmission dans la terre d'une modification soudaine du niveau d'eau du ruisseau Aa d'après la formule (2).
La consommation d'eau de la récolte est augmentée.

FIG. 4. Waterschap „Stroomgebied van de Aa". Voortplanting in de grond van een plotselinge peilverhoging in de Aa volgens vergelijking (3).

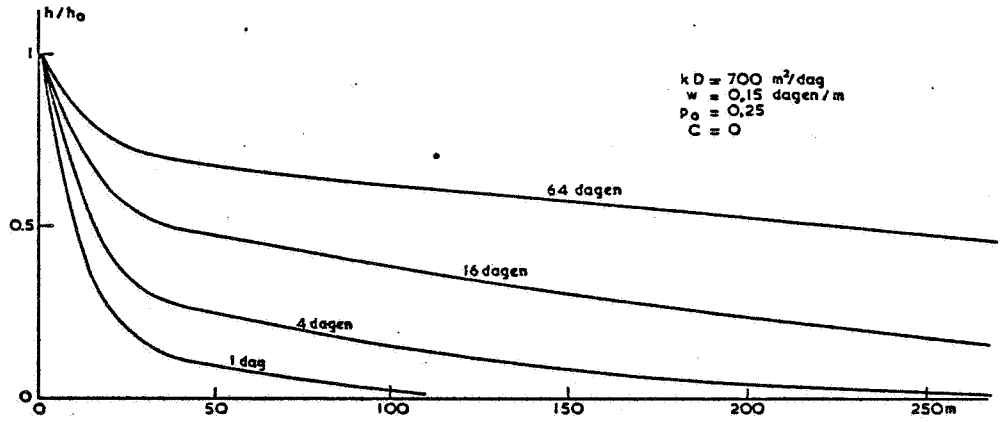


FIG. 4. *Transmission in the soil of a sudden raise of the water-level of the Aa, according to formula (3).*
Transmission dans la terre d'une montée soudaine du niveau d'eau du ruisseau Aa d'après la formule (3).

Als voorbeelden kunnen hier dienen de figuren 2, 3 en 4, afkomstig uit het onderzoek in het waterschap „het stroomgebied van de Aa". In figuur 2 nadert de grondwaterspiegel tot een horizontale eindtoestand. In figuur 3 is de eindtoestand niet horizontaal; voor $t = \infty$ mogen we de toestand als stationair beschouwen en blijft dus na zeer lange tijd nog altijd afhankelijk van de voorgeschreven verhouding tussen C en h. De verhoging van h is door de capillaire opstijging belangrijk kleiner dan in figuur 2. In figuur 4 is de eindtoestand weer horizontaal, maar het duurt aanmerkelijk langer dan in figuur 1 voor de horizontale grondwaterspiegel enigszins benaderd is. Het sterke verval langs de beek hangt samen met de verhouding tussen horizontale en radiale weerstand (kDw = afstand, waarover een horizontale stroming een weerstand ondervindt gelijk aan w). In de zomer van 1949 werden in 7 raaien loodrecht op de Aa twee maal per week de grondwaterstanden waargenomen. Daar af en toe vrij plotselinge peilveranderingen en ook wel periodieke fluctuaties voorkwamen, waren deze waarnemingen voor een deel geschikt om de bruikbaarheid van de vergelijkingen (1) tot en met (4) te controleren. Hoewel wij, gezien de omstandigheden, een goede overeenkomst met vergelijking (3) verwachtten, bleek dit wel iets te wensen over te laten.

Zowel uit deze vergelijkingen als uit de waarnemingen blijkt echter, dat de voortplanting van de grondwaterstandsverhoging zeer langzaam verloopt. Volgens de langste waarnemingsperiode was het effect na 45 dagen op 200 m afstand van de Aa slechts 25 %, op 500 m nog 20 % (vergelijk figuur 4). Op dergelijke afstand van de opgestuwde beek zal in het algemeen een merkbare winst eerst na 2 tot 3 maanden bereikt worden (zie figuur 5); de grootste winst valt op het einde van de opstuwingsperiode. Hieruit volgt, dat het wel de vraag is, of met opstuwing alleen gedurende de

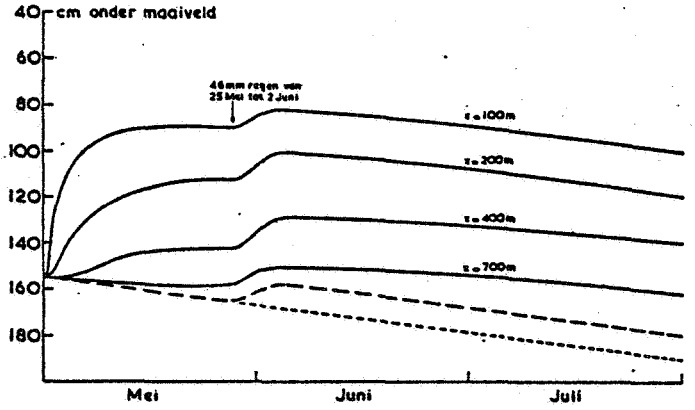


FIG. 5. Waterschap „Stroomgebied van de Aa".

— — — = verloop van de grondwaterstand vanaf 1 mei 1949 tot 31 juli 1949 gemiddeld over 27 grondwaterstandsbuizen tussen Kokse brug en Erpse brug met een afstand variërend van 100 tot 2000 m uit de Aa.

= *change of the groundwater-level 1-5-'49—31-7-'49.*
= *modification de nappe souteraine.*

——— = verloop van de grondwaterstand voor verschillende afstanden x tot de Aa, indien op 1 mei het peil in de Aa met 1 meter wordt verhoogd. Waterverbruik neemt toe evenredig met grondwaterstandsverhoging. (C = 4 mm/dag bij h = 1 m). Toepassing van vergelijking (2).

= *change of the groundwater-level 1-5-'49—31-7-'49, the water of the brook has been raised 1 meter on the 1st of May.*

= *modification de la nappe souterraine, le niveau d'eau de ruisseau est élevé 1 mètre le premier jour de mai.*

Maaiveld = *soil surface* = *surface de la terre.*

zomer voldoende verbetering bereikt zal worden. We moeten de toestand echter ook niet te ongunstig voorstellen en er rekening mede houden, dat in het tweede jaar de opstuwing van het eerste jaar in zekere mate blijft nawerken. Naarmate de grondwaterspiegel in de winter door de opstuwing gedurende de zomer dichter onder maaiveld komt, zal de ontwatering door de beek en door secundaire waterleidingen intensiever worden.

De invloed van deze secundaire watergangen is nog onvoldoende bekend. We laten deze daarom voorlopig buiten beschouwing en nemen aan, dat het beekpeil gedurende het winterhalfjaar onveranderd blijft en gedurende het zomerhalfjaar met een constant bedrag verhoogd wordt. De toestand kan nu ook met een zekere benadering berekend worden door een peilverhoging gedurende het gehele jaar met $h_0/2$ en een sinusvormige peilverhoging met amplitude $h_0/2$ aan te nemen. Voor een nauwkeuriger aanpassing is een Fourier-analyse nodig. Stellen we het sinusvormige beekpeil voor door $h = 0{,}5\, h_0 \times \sin 2\pi\, t/T$ en nemen we bovendien aan, dat $C = 0$, dan voldoet de voortplanting van deze golfbeweging in de grondwaterspiegel aan vergelijking (4). Ook bij aanneming

van deze vereenvoudigde voorwaarden is vergelijking (4) eigenlijk nog niet exact, daar we in verband met de langere tijden, die nu optreden, ook met zeer grote x moeten rekenen en dus de afstand L tussen de grote beken van invloed gaat worden. Het is mogelijk, zowel met de grootte van L als met een zekere toeneming in C (eventueel ook afhankelijk van x; de verhoging van h wordt in ieder geval minder) rekening te houden. Deze vergelijkingen zijn natuurlijk vrij wat ingewikkelder dan (4), maar blijven toch bruikbaar. Een quasi-stationaire benadering van de onder invloed van de overtollige neerslag fluctuerende grondwaterspiegel bij constant beekpeil komt nog ter sprake op pag. 66 (zie vergelijking 6 en 7).

Uit het voorgaande volgt als belangrijkste conclusie, dat men zal moeten nagaan in hoeverre een peilverhoging ook in de winter mogelijk is, wil men een zo groot mogelijk profijt trekken van een aanleg van stuwen. Bij de Aa tussen Kokse brug en Keldonk geeft opstuwing gedurende enkele zomermaanden al een belangrijke verbetering, omdat het zomerpeil van de Aa hier zo ver beneden maaiveld ligt, dat een verhoging met gemiddeld 1 m mogelijk is. Uit figuur 6 blijkt, hoe sterk de toestand in dit gebied na de normalisatie en de aanleg van een afleidingskanaal (Boerdonk-Keldonk, afvoer van het water van Stiphoutse loop en Kleine Aa) zich gewijzigd heeft. We mogen wel aannemen, dat in dit gebied behalve een peilverhoging met 1 m in de zomer, nog 50 cm peilverhoging in de winter mogelijk is. Bij een gemiddelde peilverhoging van 75 cm zal de grondwaterstand minder dan 75 cm en mogelijk zelfs belangrijk minder omhoog gaan. De redenen hiervoor zijn reeds genoemd: daar het gewas meer water kan verbruiken, moet de afvoer lager worden en evenredig daarmede moet de welving in de

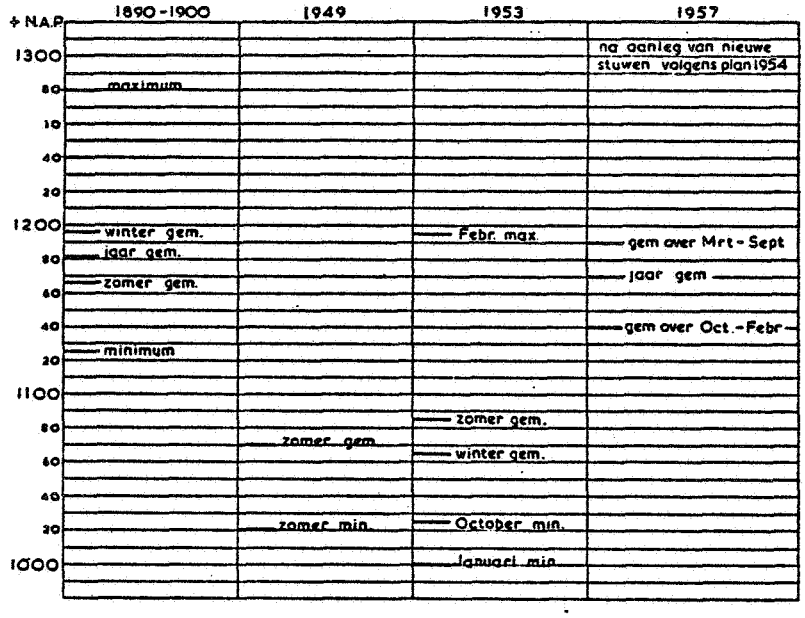


FIG. 6. Waterstanden in de Aa bij de Kokse brug = *water-levels of the Aa = niveaux d'eau du Aa.*

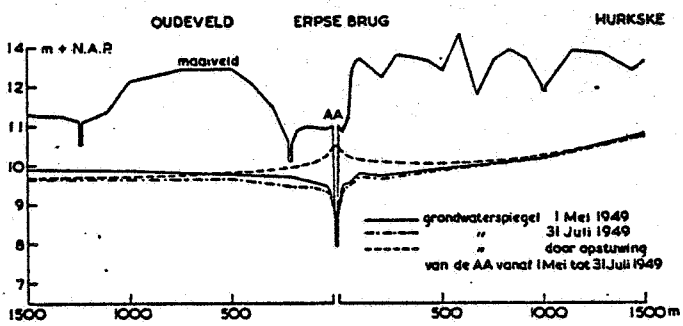


FIG. 7. Waterschap „Stroomgebied van de Aa". Dwarsprofiel volgens raai 2.

Grondwaterspiegel
= *groundwater level (table).*
= *nappe souterraine (nappe phréatique).*

grondwaterspiegel minder worden; door de hogere grondwaterstanden kunnen de secundaire watergangen in de winter bij onveranderd peil meer gaan afvoeren en daardoor de besparing van water voor een deel weer te niet doen. De afvoer van deze secundaire watergangen hangt voor een belangrijk deel af van de topografische gesteldheid (geaccidenteerdheid) van het terrein en van de gemiddelde grondwaterstandsdiepte in de winter.

Ook bij opstuwing in de zomer alleen is de topografische gesteldheid belangrijk, zoals blijkt uit het dwarsprofiel volgens figuur 7. De maximale peilverhoging hangt af van de maaiveldhoogte in de beemden. De steile rand langs de beemden bepaalt over welk oppervlak een belangrijke verbetering is te bereiken. Deze figuur toont ook, dat ondanks de opstuwing enkele kleine greppels die vroeger in ieder geval in de winter waterhoudend waren, droogblijven. In het algemeen is het echter zo, dat een gunstige grondwaterstandsdiepte zo ondiep is, dat in de lage terreingedeelten waterhoudende leidingen moeten voorkomen en dat de verdeling van secundaire waterleidingen in fig. 8 (afkomstig van de technische dienst van het Waterschap het stroomgebied van de Aa) een indruk geeft van een verdeling in gebieden met een diepe grondwaterstand en gebieden met een minder diepe grondwaterstand. In deze figuur is in de nabijheid van de Aa een aantal waterleidingen gestippeld aangegeven, welke waterleidingen voor de normalisatie van de Aa in de winter water afvoerden, maar nu zelfs in de natste perioden van de laatste jaren droog hebben gestaan. In een van de kleinere stroompjes in het relatief vochtige gebied bij Elsdonk werd de afvoer in een zeer natte periode van de winter geschat op 10 liter per seconde afkomstig uit een gebied haast 100 ha groot. Bij een later bezoek aan dit gebied kon de uitmonding in de Aa niet meer gevonden worden. Het is waarschijnlijk zo, dat dichtbij de Aa de grondwaterstand zo ver onder maaiveld staat, dat deze 10 liter per seconde weer in de grond wegzakken. De foto's 1 tot en met 6 geven verder een indruk van de tegenwoordige toestand in dit gebied.

Vergelijken we de grondwaterstandsdieptekaarten langs de Aa tussen Kokse brug en Erp en in het stroomgebied van de Dommel ten zuiden van Eindhoven met elkaar, dan valt een zeker verschil onmiddellijk op. In het stroomgebied van de Boven-Dommel vindt men de diepste grondwaterstanden op de hoogste gronden. De beemden zijn relatief goed. Langs de Aa vindt men de diepste grondwaterstanden op de hoge rand

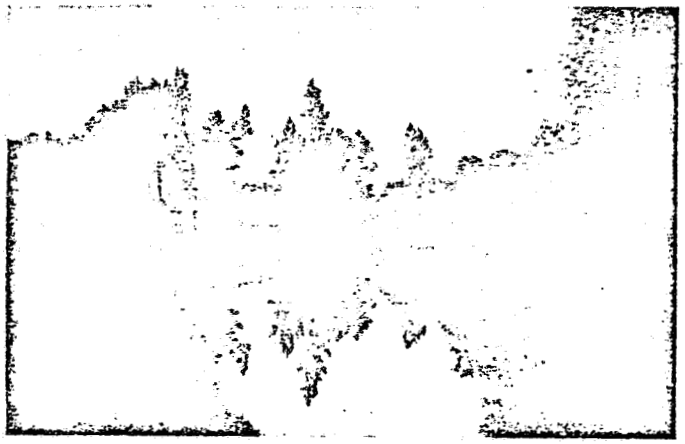


FOTO 1.
Buiten het verdrogende gebied. Beekpeil 50 cm – M.V.

Outside the desiccating area. The level of the water in the brook is 50 cm. below soil surface.

Hors du terrain de dessèchement. Le niveau d'eau dans le ruisseau est 50 cm. en bas de la surface de la terre.

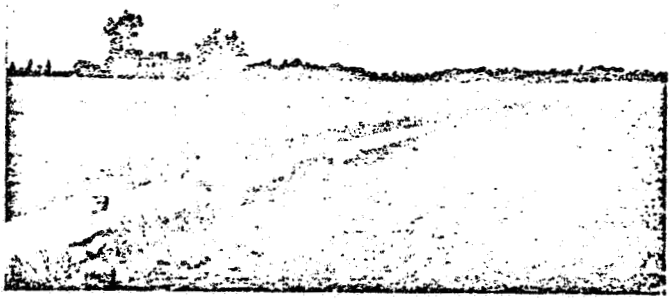


FOTO 2.
Beekpeil 2 m - M.V.

The level of the water in the brook is 2 m. below soil surface.

Le niveau d'eau dans le ruisseau est 2 m. en bas de la surface de la terre.

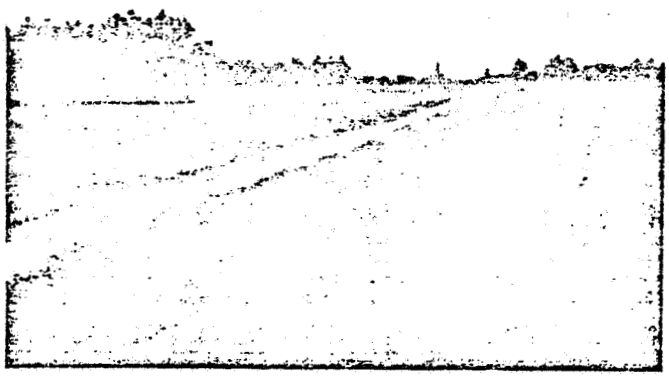


FOTO 3.
Waar raai 2 de Aa snijdt. Beekpeil 2 m – M.V.

Where profile nr. 2 crosses the Aa. The waterlevel in the brook is 2 m. below soil surface.

Ligne de mesurage no. 2 croise le ruisseau d'Aa ici. Le niveau d'eau dans le ruisseau est 2 m. en bas de la surface de la terre.

FOTO 4.
Een van de beide proefstuwen.

One of the 2 experimental weirs.

Un des deux déversoirs d'expérimentation.

FOTO 5.
De steile rand langs de beemden. Het maximale hoogteverschil is hier 2 m.

The steep side (border) of the fields. The maximum difference in height is 2 m. here.

Le bord à pic des champs. Ici la différence en hauteur maximale est 2 m.

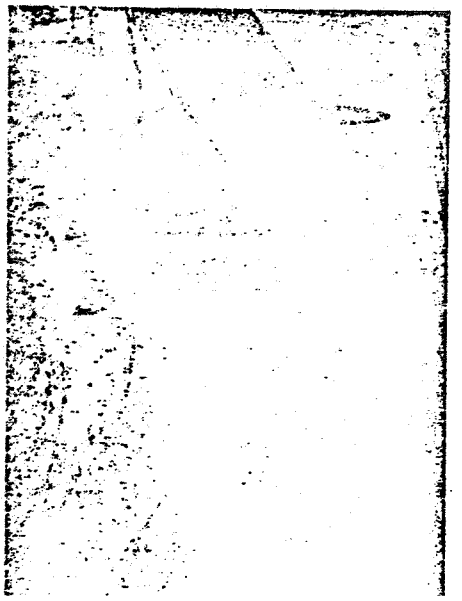


FOTO 6.
Een van de secundaire waterlopen in dit gebied, die nog regelmatig water afvoeren.

One of the secundary water-courses in this area, still with a discharge.

Un des cours d'eau secondaires dans ce terrain, généralement avec un écoulement d'eau.

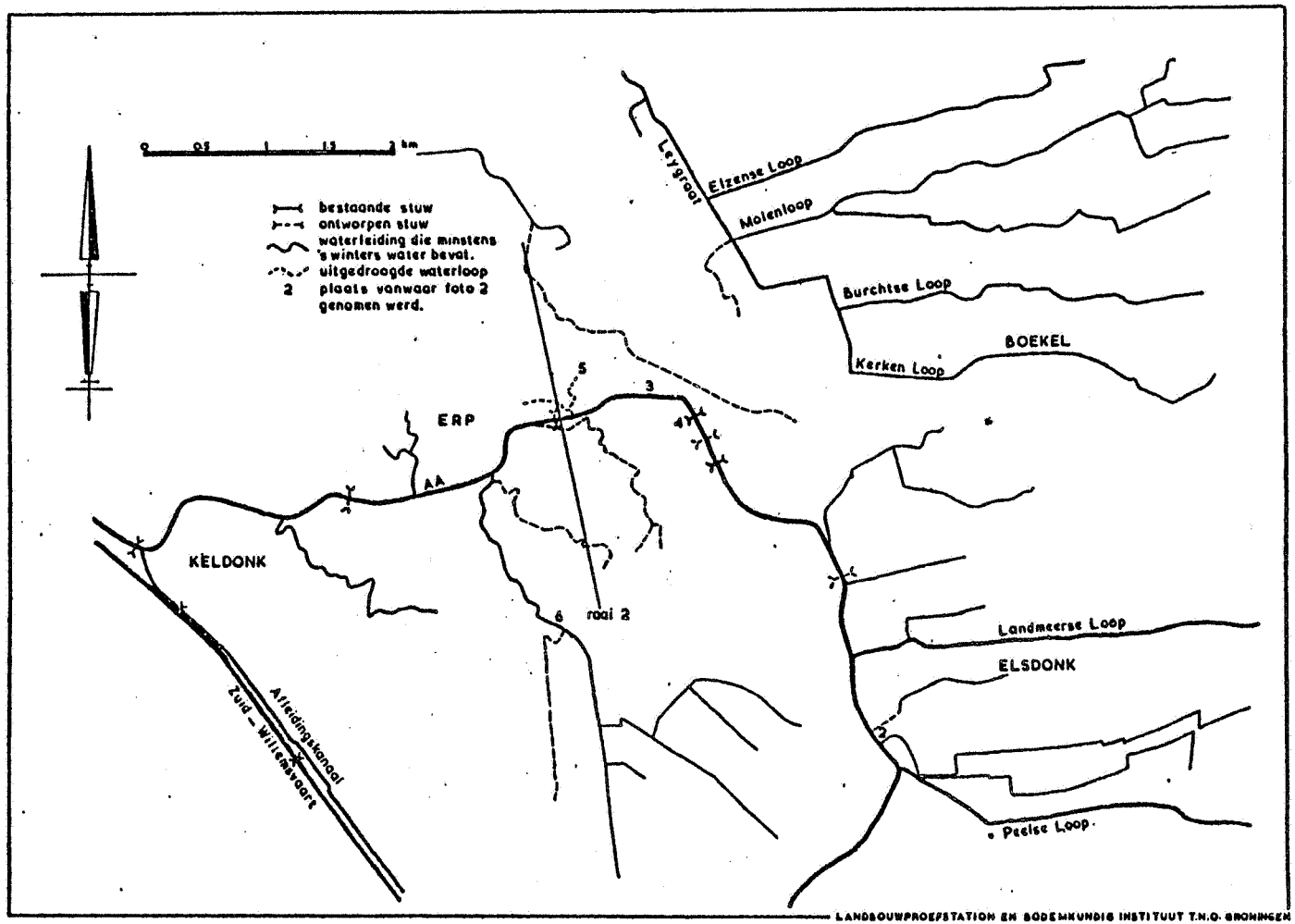


FIG. 8. Waterschap „Stroomgebied van de Aa" tussen Veghel en Gemert. Onderzoek Erp en omgeving.

FIG. 8. *Research Erp and surroundings. Recherches Erp et environs.*

langs de beemden. Met toenemende afstand tot de Aa wordt de toestand geleidelijk beter. De beemden zijn hier relatief slecht. Door een dikke laag met relatief hoog humusgehalte is het oude bouwland bij Erp niet zo slecht als men op grond van de hoogteligging zou verwachten.

Door dit verschil zijn de mogelijkheden om het peil van Dommel en Tongelreep op te voeren veel kleiner. Het zal in de toekomst misschien mogelijk zijn het winterpeil met 20 cm en het zomerpeil met 30 tot 40 cm te verhogen (bij Waalre en Aalst zelfs met 60 cm). Hiervoor is de aanleg van een afleigingskanaal vanaf de Belgische grens tot dicht bij Eindhoven onmisbaar. Dit afleidingskanaal zou dan de hoge afvoerpieken kunnen opvangen. Het onderzoek in het stroomgebied Boven Dommel is echter nog niet voldoende gevorderd om reeds nauwkeurig te kunnen vaststellen welke de mogelijkheden zijn.

Fig. 9. Stroomgebied van de Dommel.

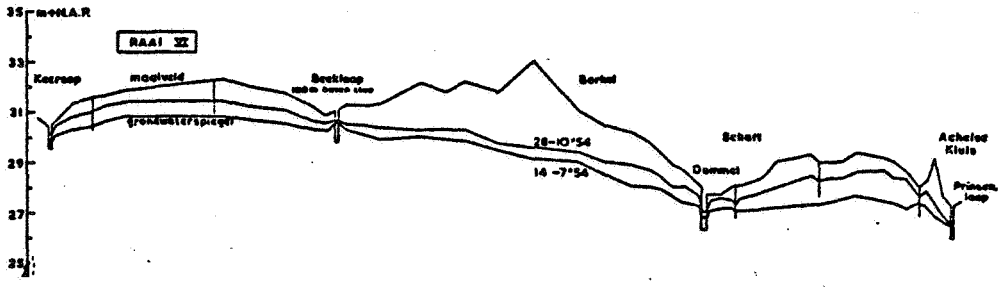


FIG. 9. *Basin of the Dommel.*
Bassin du Dommel.

De figuren 9 en 10 geven de vorm van de grondwaterspiegel in een enkele raai en de loop van de open watergangen in het stroomgebied van de Boven-Dommel (vergelijk met figuren 7 en 8 voor het Waterschap van de Aa). Ook hier blijken ondiepe grondwaterstanden in eerste benadering samen te gaan met korte afstanden tussen de secundaire waterleidingen. Tussen de kleine waterlopen varieert de afstand hier grotendeels van 300 tot 1000 m. Ten aanzien van de afstand tussen de grote beken is de toestand minder duidelijk. Ten zuiden van Eindhoven liggen de grote beken ongeveer evenwijdig, met richting zuid-noord op 1500 tot 4000 m van elkaar. In het waterschap van de Aa is de loop van de beken onregelmatiger. In het verdrogende gebied bij Erp zijn de afstanden meestal groter. Bij St. Oedenrode-Veghel is de afstand tussen Aa en Dommel ongeveer 8 km. Ten zuidoosten van de weg Eindhoven–Nijmegen wordt door Aa, Grote Molenbeek en Maas een gebied groot 80000 ha ingesloten, waarin wel een groot aantal kleine beken, maar geen grote beken wordt aangetroffen. In hoeverre dergelijke verschillen verklaard zullen kunnen worden uit topografische gesteldheid, bodem en klimaat valt moeilijk te zeggen.

Uit de voorafgaande uiteenzetting is gebleken, dat in de nabijheid van de beken door de opstuwing een belangrijke verhoging van de grondwaterstand en daarmede samengaande ook een belangrijke verhoging van het waterverbruik mogelijk is.

Immers, indien het maaiveld in de lage gronden vrij goed horizontaal ligt, kan binnen afzienbare tijd de grondwaterspiegel over een strook van enkele honderden meters breedte op de gewenste diepte onder maaiveld gebracht worden. Voor de hogere gronden ligt de toestand in dit opzicht veel ongunstiger. We kunnen aantonen, dat indien het gebied homogeen is (waarmede bedoeld wordt, dat overal dezelfde overtollige neerslag en dezelfde capillaire opstijging bestaat) en de secundaire waterlopen niets afvoeren, de waterbesparing over dit gebied van beek tot beek een grootte-orde van niet meer dan 50 mm kan hebben. Dit blijkt namelijk uit de volgende vergelijking, welke is afgeleid met behulp van vergelijking (8). Onderstaande vergelijking geeft het verband tussen 2 toestanden (aangeduid door de indices 1 en 2) bij sinusvormige overtollige neerslag ($\overline{N} + A \sin 2\pi\, t/T$) in betrekking tot het constante beekpeil h $\left(\pm\frac{L}{2}\right)$, de laagste waarde van het hoogste punt in de grondwaterspiegel h^{min} (0), het gemiddelde verval in de grondwaterspiegel $\overline{\triangle h}$ en de gemiddelde jaarlijkse overtollige neerslag $\overline{NT}$.

$$\left\{h_2\left(\frac{L}{2}\right) - h_1\left(\frac{L}{2}\right)\right\} - \left\{h_2^{min}(0) - h_1^{min}(0)\right\} = \frac{\overline{N}_1 - \overline{N}_2}{\overline{N}_1}\,\overline{\triangle h}_1 + \frac{(A_2 - A_1)\,T}{5p_0} \qquad (5)$$

Op dezelfde manier is de volgende tabel afgeleid, waarbij aangenomen werd, dat N(max) onveranderd blijft, dat $\overline{\triangle h}$ evenredig met $\overline{N}$ afneemt en dat amplitude $\triangle h$ evenredig met amplitude N toeneemt. De waterbesparing bedraagt na opstuwing volgens deze tabel 55 mm. De zomergrondwaterstanden komen 30 cm hoger, de wintergrondwaterstanden worden iets meer namelijk met 45 cm verhoogd.

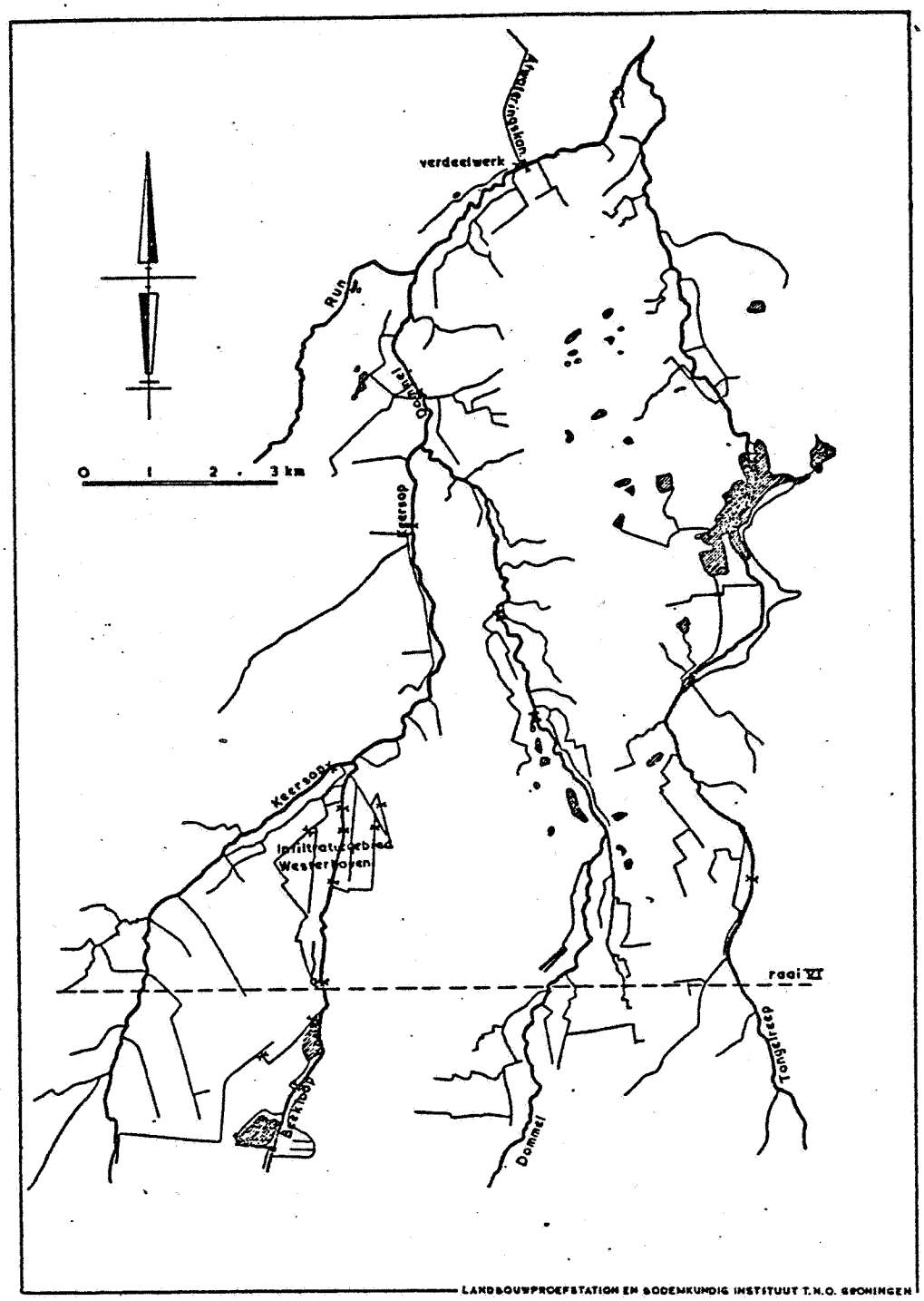
TABEL 2

Beekpeil h $(\pm \frac{L}{2})$	0	60 cm	0	60 cm	
	N_1	N_2	$\triangle h_1(0) = h_1(0)$	$\triangle h_2(0)$	$h_2(0)$
Maximum	2,2	2,2	200	185	245
Minimum	− 0,2	− 0,5	100	70	130
Gemiddelde	1,0	0,85	150	127,5	187,5
Amplitude	1,2	1,35	50	57,5	57,5
	mm/dag	mm/dag	cm	cm	cm

Om aan de beide genoemde voorwaarden te voldoen (geen afvoer door secundaire waterlopen en overal dezelfde capillaire opstijging) zou een ongeveer parabolische vorm van het maaiveld vereist zijn. Bij een dergelijke ideale vorm zouden de grote

FIG. 10. Stroomgebied van de Dommel boven Eindhoven. →

FIG. 10. *Basin of the Dommel upstream Eindhoven.*
Bassin du Dommel en amont d'Eindhoven. →



LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O. GRONINGEN

beken vrij diep moeten insnijden om in de zomer een vrij constante grondwaterstandsdiepte (b.v. tussen 1 m en 1,50 m) mogelijk te maken. Voor zover wij dit op dit ogenblik kunnen beoordelen, zijn de werkelijke toestanden veel onregelmatiger. Dit heeft tot gevolg, dat op de lage gronden de besparing boven deze gemiddelde waarde ligt, op de hogere gronden er beneden.

Uit de voorgaande uiteenzetting volgt, dat een methode gewenst is, waarbij men met de volgende omstandigheden rekening kan houden:

a. invloed van langere tijden, samenhang tussen zomer en winter;

b. de beekafstand L;

c. een grote capillaire opstijging in de beemden, een kleine capillaire opstijging op de hoge gronden (eventueel ook nog de invloed van het vochtdeficit op de afvoer in het najaar);

d. de radiale weerstanden w;

e. de verdeling van de overtollige neerslag;

f. invloed van de secundaire waterleidingen.

Door de kleine waterloopjes wordt de toestand echter zo gecompliceerd, dat het praktisch alleen mogelijk is met quasi-stationaire toestanden te rekenen. Hetzelfde geldt voor de zeer onregelmatige verdeling van N, die steeds mogelijk is. De voorwaarden (a), (b), (c) en (d) daarentegen hebben wij zowel bij niet-stationaire als quasi-stationaire vergelijkingen in rekening kunnen brengen. De quasi-stationaire berekeningen geven uit de aard der zaak eenvoudiger uitkomsten. Zo vinden wij bij een overtollige neerslag $N = \overline{N} + A \sin 2\pi\, t/T$ voor de amplitude van h midden tussen de bekende volgende vergelijking:

$$a = \frac{AT}{\sqrt{\left(\frac{8kD}{L^2}T\right)^2 + (5\,p_0)^2}} \tag{6}$$

Voor de naijling b van de grondwaterstand ten opzichte van de overtollige neerslag vinden we:

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi b}{T} = \frac{p_0 L^2}{2kDT} \tag{7}$$

Bij grote L wordt de eerste term onder het wortelteken in de vergelijking voor a van minder belang. Met enige benadering krijgen we dan het volgende resultaat, dat reeds in vergelijking (5) gebruikt is:

$$a \approx \frac{AT}{5p_0} \tag{8}$$

Nemen we aan, dat A = 1,2 mm/dag (zie tabel) en $p_0 = 0{,}15$, dan volgt uit de laatste vergelijking:

$$h(\max) - h(\min) = 1{,}15 \text{ m}.$$

Wegens de ingevoerde benadering is deze uitkomst iets te hoog. Dit resultaat komt er dus op neer, dat het amplitude rond 50 cm is. Bij een grondwaterstand in de winter van bijvoorbeeld – 0,80 m behoort dus een zomergrondwaterstand van – 1,80 m. Uit vergelijking (6) volgt, dat de uitkomst van het amplitude bij grote L voornamelijk van p_0 afhangt en dan vrijwel omgekeerd evenredig met p_0 is volgens (8).

Vergelijking (7) voor de jaarfluctuatie kunnen we nog benaderen door:

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi b}{T} = \frac{4 p_0 \overline{\Delta h}}{\overline{N} T} \approx 0{,}15\, p_0\, \overline{\Delta h}\ \text{cm} \qquad (9)$$

Onder $\overline{\Delta h}$ cm verstaan we de gemiddelde opbolling van de grondwaterspiegel tussen de beken uitgedrukt in cm. Bij korte sloot- en drainafstanden volgt hieruit voor de naijling rond 7 tot 30 dagen. Voor de hoge gronden kan de naijling variëren van rond 40 tot iets meer dan 80 dagen.

Indien we nu deze resultaten vergelijken met de uitkomsten van de niet-stationaire vergelijkingen, dan blijken wel zekere verschillen. Zo is bijvoorbeeld de vorm van de stijgende grondwaterspiegel niet gelijk aan die van de dalende grondwaterspiegel en daarmede hangt samen, dat de naijling van de stijghoogte ten opzichte van de overtollige neerslag niet overal dezelfde waarde heeft en in afhankelijkheid van de afstand tot de beek enige tijd (maximaal 14 dagen) kan variëren. Deze verschillen zijn praktisch echter niet belangrijk. Zoals tevoren werd opgemerkt zijn immers ook nog van invloed de heterogeniteit van de bodem, de afvoer door secundaire watergangen en het verband tussen C en grondwaterstandsdiepte, terwijl de overtollige neerslag in het algemeen veel sterker fluctueert dan het aangenomen sinusvormige verloop.

Nemen wij nu aan, dat quasi-stationaire berekeningen een voldoende benadering geven, dan is het mogelijk op een betrekkelijk eenvoudige manier het verloop van grondwaterstand en afvoer en de invloed van de secundaire waterleidingen hierop na te gaan. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 11. De gegeven regenval volgens het regenstation Venray is geschematiseerd in een blokdiagram. Hierbij werd aangenomen, dat in de zomer alleen de zwaarste regenbuien doorslaan, de capillaire opstijging 0,5 mm bedraagt en het vochtdeficit niet groter wordt dan ongeveer 30 mm.

De totale verdamping over deze 15 maanden wordt dan 625 mm. Uit een berekening volgens PENMAN, verstrekt door het K.N.M.I., zou de potentiële verdamping van een open wateroppervlak over deze periode 865 mm moeten bedragen. Vermenigvuldigd met 0,8 levert dit voor begroeide grond 690 mm op.

De aangenomen grootte van de overtollige neerslag is dus wel redelijk, evenals de verdeling. De aangenomen waarden voor L en kD zijn normaal voor Noord-Brabant en Limburg. De waarde voor p_0 kan aan de lage kant zijn. Hierdoor zou dus een te groot verschil tussen de hoogste en de laagste grondwaterstand gevonden zijn. Een dergelijk verschil als in fig. 11 (185 cm) komt in dit gebied inderdaad weinig voor; waarschijnlijk ligt in dit geval de juiste waarde voor p_0 dicht bij 0,12. De invloed van de secundaire watergangen op de grondwaterstand blijkt vrij gering te zijn. Toch wordt volgens de berekening nog 22% van de over-

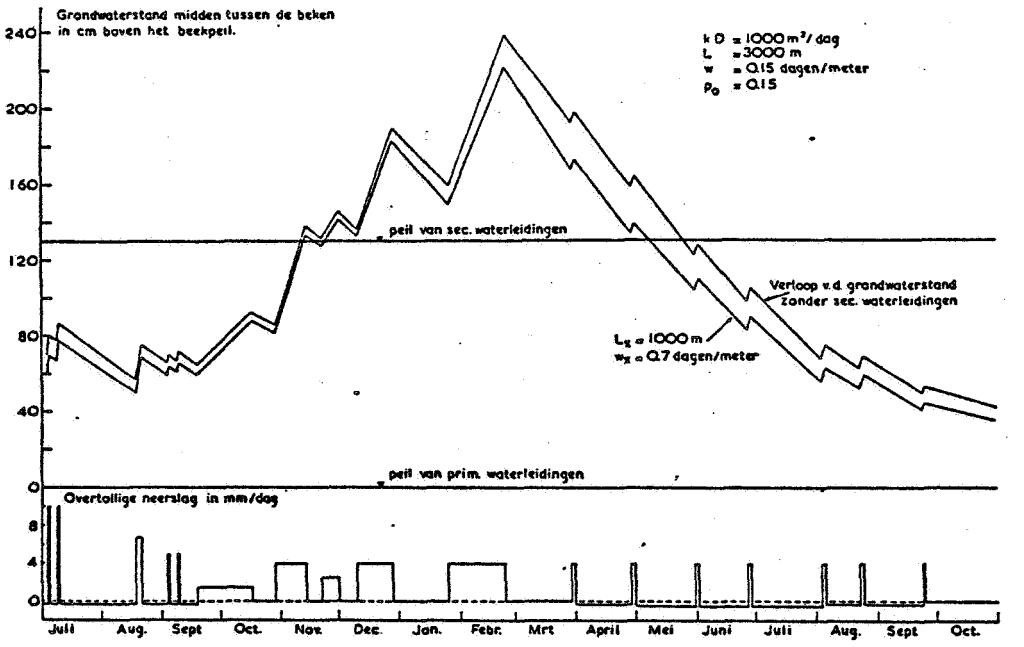


FIG. 11.

Grondwaterstand midden tussen de beken in cm boven het beekpeil	= *groundwater level between the brooks (in cm. above the water level of the brook.)* = *nappe phréatique entre les ruisseaux (en cm. en amont du niveau d'eau du ruisseau).*
Peil van sec. waterleidingen	= *water-level of the secondary watercourses..* = *niveau d'eau des courses d'eau secondaires.*
Overtollige neerslag in mm/dag	= *superfluous precipitation.* = *précipitation de trop.*
Peil van prim. waterleidingen	= *water-level of the primary watercourses.* = *niveau d'eau des courses d'eau primaires.*

tollige neerslag in dit geval door deze twee secundaire waterleidingen afgevoerd. Over de verhouding in de totale afvoer tusschen grote en kleine waterlopen (vaak 1:100 of meer) geeft deze figuur natuurlijk geen uitkomst, daar dit behalve van de afstanden tussen de verschillende waterlopen ook van de lengte afhangt.

Vergelijken we ten slotte het berekende verloop van de grondwaterstand met de waarnemingen in een buis uit het onderzoek in het stroomgebied van de Lollebeek bij een grondwaterstandsdiepte van 1,50 m tot 3 m, dan blijkt de overeenkomst (het feit dat 0,5 mm/dag als capillaire opstijging wel mogelijk is bij een grondwaterstandsdiepte van 1,5 m, maar niet bij 3 m, heeft hier weinig invloed) zelfs zeer goed te zijn. De toegepaste rekenmethode is dus wel bruikbaar, hoewel zeker nog voor verbetering vatbaar. De zichtbare verschillen tussen waarnemingen en berekeningen maken het mogelijk in de aangenomen waarden voor de bodem-

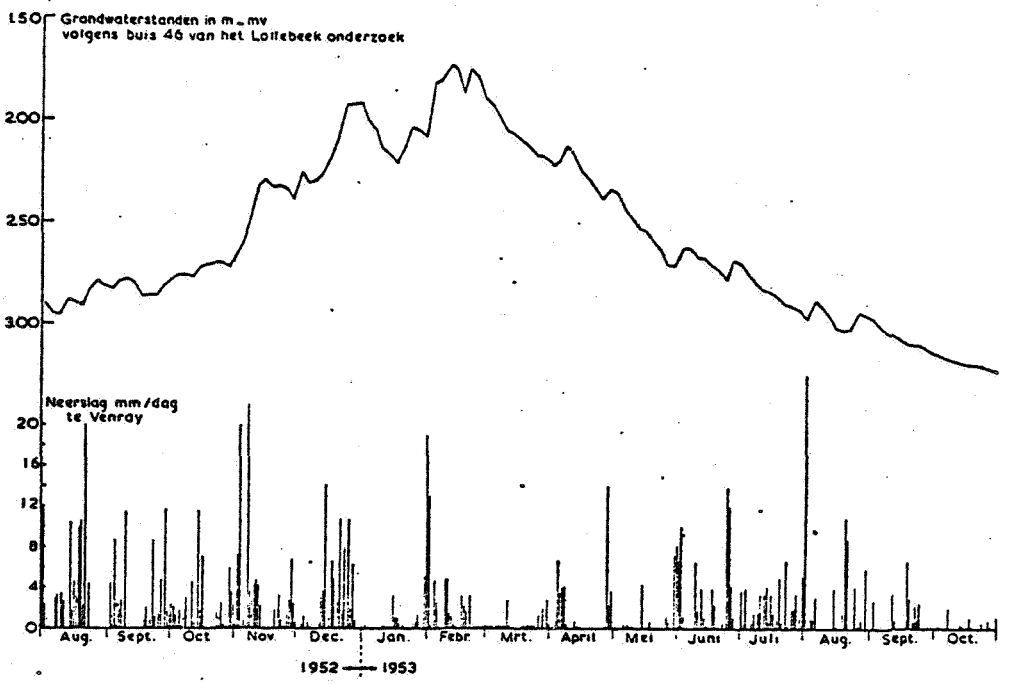


FIG. 12.
Grondwaterstanden in mm — m.v. = *groundwater level in meters below soil surface.*
= *nappe phréatique (en mètres plus bas que la surface de terre).*

Neerslag mm/dag = *precipitation mm/day.*
= *précipitation mm/jour.*

constanten, peilen van het open water en andere grootheden, die bij de berekening gebruikt zijn, zekere correcties aan te brengen en deze waarden eventueel nog met de tijd te doen variëren. Evenzo wordt het mogelijk, door andere waarden voor de peilen van het open water te substitueren, na te gaan welke verhoging hierdoor in de grondwaterstand ontstaat en welke invloeden de secundaire waterlopen hierop hebben. Hoewel deze invloed in het gegeven voorbeeld slechts gering is, is het niet uitgesloten, dat bij een grotere dichtheid van de secundaire watergangen de invloed wel belangrijk begint te worden.

De in het laatste deel van deze voordracht geschetste rekenmethode kan dus niet alleen betekenis hebben bij het nagaan van de invloed, die het peil van open water en het beheer van eventueel aan te leggen stuwen zullen hebben op het verloop van de grondwaterstand, maar kan ook een bijdrage leveren bij het bepalen van de verschillende, in het begin reeds besproken bodemvariabelen en bij het opstellen van een waterbalans van de grondwaterstroming.

DISCUSSIE

Ir. A. VOLKER:

Berekend is de verhoging van de grondwaterstand aan weerszijden van een beek onder invloed van een opstuwing van de beek gepaard gaande met een wateronttrekking door het gewas.
Komen de formules hiervoor overeen met die voor de warmtegeleiding in een metalen staaf met zijdelings warmteverlies?

ANTWOORD: Inderdaad komen de formules voor niet-stationaire grondwaterstromingen overeen met formules voor warmtegeleiding.
Voorwaarde voor deze overeenkomst is echter, dat de grondwaterstroming als horizontaal beschouwd mag worden. De overeenkomst is dus strikt genomen alleen geldig voor 2-dimensionale gevallen. De elasticiteit van het medium is hierbij buiten beschouwing gelaten; berging is alleen mogelijk in het freatisch vlak.

Drs. P. BRUIN:

Aan hetgeen de inleider heeft medegedeeld, wil ik nog het volgende toevoegen.
Het reliëf waartegen het onderzoek van de inleider in het stroomgebied van de Aa moet worden bekeken, is als volgt. De vraag was, of de baten door opbrengstvermeerdering ten gevolge van de stuwing in de zomer zouden opwegen tegen de kosten der stuwen. Er werden een bodemkartering en een waterstandskartering verricht. Tevens werd door het doen van waarnemingen van de stand van de gewassen en een daarbij aansluitende statistische bodemvruchtbaarheidsanalyse de samenhang bepaald tussen waterstand en groei van het gewas (invloed van humusgehalte, dikte van de humeuze laag en fijnheid van het zand daarop). Dr. FERRARI kon op basis van al deze gegevens en soortgelijke resultaten van elders (Gelderse Vallei) met behulp van de resultaten van het onderzoek van de inleider antwoord geven op de gestelde vraag. De stuwen zullen worden geplaatst. Het onderzoek wordt thans voortgezet, daar behalve stuwing in de zomer ook een daaraan voorafgaande winterstuwing zal worden ingevoerd. Ten slotte zal bij de voortzetting van het onderzoek de vraag van de invloed die van een remming van de afvoer van kleine waterlopen kan uitgaan, nog meer in detail worden bestudeerd.

IV. GRONDWATERPEILREGELING OF KUNSTMATIGE BEREGENING

W. C. VISSER *

Afdeling Onderzoek van de Cultuurtechnische Dienst

Van het regelen van de groeifactor water wordt thans algemeen een belangrijke vergroting van het produktievermogen van de grond en een versterking van de economische kracht van de landbouwgemeenschap verwacht. Een groot aantal specialisten bestudeert de details, waarin de vraag, of deze waterbeheersing door grondwaterpeilregeling dan wel door kunstmatige beregening zal dienen te geschieden, kan worden gesplitst. Het zal van tijd tot tijd van belang zijn de resultaten van deze detailstudies eens te overzien en zich af te vragen, in welke mate men de oplossing van de vraag, hoe de waterbeheersing in de toekomst zal plaatsvinden, reeds kan benaderen.

Dit zal van belang zijn, omdat te voorzien valt, dat de maatregelen, die men zal moeten treffen om waterbeheersing op landelijke schaal mogelijk te maken, bij peilregeling en beregening wel zullen verschillen. Nu voor steeds meer gebieden ontwerpen voor waterbeheersing worden voorbereid, dient men zich telkens opnieuw te beraden, in welke richting men de uiteindelijke waterbeheersingsmethode zal moeten zoeken. Hiertoe zullen zaken van zeer verschillende aard tegen elkander afgewogen moeten worden.

1. De aard van het vraagstuk

Wanneer men beregening en peilbeheersing tegenover elkander stelt, dient overwogen te worden wat de betekenis zal zijn van de grootte van het in een enkel project te behandelen gebied. Beregening per bedrijf heeft veel voordelen. Men overweegt echter eveneens door coöperatieve beregening grotere eenheden te vormen. Wanneer de omvang van een enkel project steeds meer zou worden vergroot, mag men verwachten, dat bij beregening de nadelen boven een zekere grens sneller gaan toenemen dan de voordelen.

Voor de peilregeling kan men eveneens projecten ter grootte van een bedrijf maken, eventueel door water uit een put te pompen. Bij kleine oppervlakten zijn de nadelen van een dergelijk systeem ten gevolge van waterverliezen langs de randen echter groot. Laat men de omvang van de projecten toenemen, dan nadert het project steeds meer tot de waterbeheersing van een waterschap in zijn geheel. Bij deze omvang zal in vele gevallen de oplossing kunnen worden gekozen, die de gunstigste verhouding van voordelen tot nadelen heeft.

Behalve het probleem van de grootte van de projecten – in hoofdzaak een organisatorisch probleem – in inzicht in een aantal economische, technische, hydrologische en sociale vraagstukken van belang. Het technische probleem is thans vooral hoe men een peilregelingssysteem zal moeten ontwerpen, dat zoveel mogelijk profijt trekt van de mogelijkheden, die deze waterbeheersingsmethode bij goede aanpassing aan het terrein en aan de bodemeigenschappen kan bieden. Op technisch gebied is de ontwikkeling van de beregening aanzienlijk verder gevorderd dan die van de peilregeling.

---

* Thans: *Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding*

Op het gebied van de hydrologie lijkt het, dat er twee vraagstukken zijn, die het meest bepalend zijn voor de keuze van de methode. Allereerst dient de vraag te worden opgelost, hoeveel water men zal moeten aanvoeren om een gebied voldoende van water te voorzien. Daarnaast dient te worden beoordeeld, wat de gevolgen zullen zijn van plaatselijk onttrekken of van elders aanvoeren van dit water.

Bij de aanvoer van water moet men wel onderscheiden tussen de hoeveelheid water die elke dag verbruikt wordt en de hoeveelheid die men op bepaalde dagen moet aanvoeren. Dat deze twee hoeveelheden sterk kunnen verschillen, vindt zijn oorzaak daarin dat men soms tekorten doet ontstaan, die later in korte tijd moeten worden aangevuld. Hierdoor kan het voorkomen, dat grote hoeveelheden water per tijdseenheid getransporteerd moeten worden, hetgeen bij aanvoer door leidingen tot grote profielen moet leiden.

Ten aanzien van het voorspellen van de gevolgen van onttrekken en aanvoeren van water is op het ogenblik nog geen geschikte routinemethode beschikbaar, volgens welke eventuele nadelige gevolgen vooraf beoordeeld kunnen worden. De omvang van verdroging door onttrekken of wateroverlast door ondergrondse verliezen zullen in het algemeen pas na de uitvoering van het werk blijken.

Ten aanzien van de economische eisen, die door beide waterbeheersingsmethoden worden gesteld, is wat betreft de beregening veel meer bekend dan ten aanzien van de peilregeling. Deze kennis is echter niet volledig. Bij beregening zouden de kosten ongunstig kunnen worden beïnvloed door herstelmaatregelen, die wegens de ongunstige beïnvloeding van de grondwaterstand noodzakelijk zouden kunnen blijken bij gronden, die thans goed zijn. Maar bij massaal watergebruik zou bij deze vroeger goede gronden door grondwaterspiegeldaling verdroging kunnen gaan optreden. Bij peilbeheersing rekent men met grote kosten van grondverzet voor egalisatie en het graven van leidingen, terwijl eveneens door ondergrondse waterverliezen aanzienlijke kosten van wateroppompen worden gevreesd.

Ten aanzien van de sociale kant van het waterbeheersingsvraagstuk is vooral van belang hoeveel tijd na het gereedkomen van de werken de bevolking het voor haar behaalbare optimale resultaat zal bereiken. Hoe hoog zal dit optimum liggen in vergeking met wat een in het vak van waterbeheersing volkomen bekwame boerenbevolking zou kunnen bereiken. Op dit sociale gebied is veel minder inzicht en ervaring verzameld dan op het technische terrein. Toch kon het wel eens zijn, dat op dit sociale terrein een veel belangrijker maatstaf voor de keuze van de waterbeheersingsmethodiek zou liggen dan op het technische of economische gebied. De beide typen van waterbeheersing stellen aan de zorgzaamheid en kennis van de boer zeer verschillende eisen. Men zal naar een methode moeten zoeken, die de waterbeheersing zoveel mogelijk automatisch of wel door daartoe aangestelde vakmensen, doet plaatsvinden. Naarmate de goede waterbeheersing meer uit de opzet van het waterbeheersingsplan volgt, behoeft minder beroep op de zorgzaamheid en kennis van de boer te worden gedaan, zodat hij meer aandacht kan geven aan die onderdelen van zijn bedrijf, die zich niet laten automatiseren en die zijn voortdurende aandacht nodig hebben.

Onderzoek en ervaring zullen het inzicht in het waterbeheersingsvraagstuk in de toekomst ongetwijfeld zo verdiepen, dat met zekerheid kan worden aangegeven, welke

richting men moet gaan. Het zal echter zeer gewenst zijn, reeds eerder op wellicht wankele grondslag zich van dit toekomstige standpunt een voorlopig inzicht te vormen door alle detailresultaten te wegen en samen te stellen. In de volgende beschouwing is getracht een aantal bouwstenen voor een dergelijk voorlopig overzicht aan te dragen.

2. Oppervlakte van voor beregening en peilregeling in aanmerking komende gronden

De belangrijkste argumenten, die de beslissing bepalen, of beregenen dan wel peilregeling als waterbeheersingsmethode het meest in aanmerking komen, houden alle rekening met de verdrogingsintensiteit en de grondwaterdiepte.

Van onze goede kleipolders met gronden, waar vrijwel nooit droogteverschijnselen optreden, is niettemin voldoende bekend, dat variaties in de grondwaterdiepte gepaard gaan met depressies in de oogst. Door de waterstand in de grond op een meest gewenst peil te handhaven, dat van profiel, gewas en klimaat afhangt, is een meeropbrengst van een voor praktische uitvoering voldoende grote betekenis te bereiken. Figuur 1 illustreert dit nog eens.

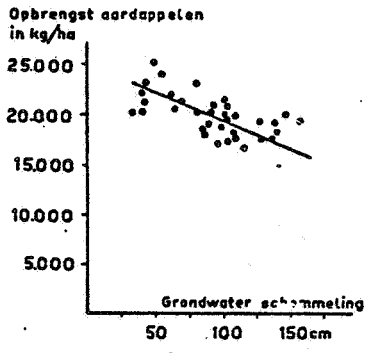


Fig. 1.
De grondwaterschommelingsmaat is een belangrijke groeifactor: de opbrengst loopt bij toenemende schommeling sterk terug.

Fig. 1.
The size of the variation in the groundwater level affects the growth very much: the yield decreases very much by increasing variation.
Quant à la végétation la variation de niveau de la nappe souterraine est un élément important: le rendement amoindrira fortement en cas de variation augmentante.
Opbrengst aardappelen = *yield of potatoes.*
= *rendement de pommes de terre.*

In de vlakke polders ligt het voor de hand, de afvoerleidingen voor de peilregeling te gebruiken. Ook voor de zandgronden, waar geen verdroging optreedt of zelfs het land te nat is, treft men overwegend een systeem van afvoerleidingen aan. Een goede waterhuishoudkundige toestand is op de zandgronden zonder een goed functionerend afvoersysteem slechts in bijzondere gevallen mogelijk. Ook op deze goede of te natte zandgronden zal het afvoersysteem voor wateraanvoer bruikbaar zijn. Men mag dan ook gegeneraliseerd stellen, dat de gebieden, waar geen verdroging maar een goede ontwateringstoestand of wateroverlast optreedt, voor een zeer groot deel zullen samenvallen met de gebieden, die zich tot peilregeling lenen. Tabel 1 geeft van de oppervlakten van de verdrogingsklassen voor de zandgronden een indruk en laat uit de grootte van de natte en goede groep het oppervlak van voor peilregeling in aanmerking komende gronden afleiden.

Waar echter in de winter het peil diep onder het maaiveld blijft staan, bijvoorbeeld meer dan een meter diep, mag men aannemen, dat een niet onbelangrijke onder-

grondse afvoer zal optreden. Gronden, die zoveel water verliezen, dat zelfs in natte winters het regenoverschot de waterspiegel niet dicht bij het maaiveld vermag te brengen, zullen zich in het algemeen minder voor peilregeling lenen. Wederom kan men generaliserend het oppervlak aan gronden met diepe winterwaterstand als een benadering beschouwen van het oppervlak waar beregening grote voordelen zal heben.

In tabel 2 vindt men de oppervlakten, waarvan de winterwaterstanden in de opeenvolgende grondwaterdiepteklassen vallen. De diepe grondwaterstandsklassen vallen daarbij min of meer samen met het voor beregening in aanmerking komende areaal.

Uit deze twee tabellen is een derde tabel samengesteld, die aangeeft in welke verhouding op onze zandgronden beregening dan wel peilregeling de beste kansen heeft en in welk gedeelte van de gebieden deze argumenten van verdroging of grondwaterdiepte geen doorslag kunnen geven (C.O.L.N., nog niet gepubliceerd).

Bij het beoordelen van deze verhoudingscijfers van tabel 3 zal duidelijk zijn, dat er geen dwingende redenen bestaan om beregening uit te sluiten in het voor peilregeling geschikter geachte gebied en andersom. Waar men in een diep ontwaterd gebied een watervoorraad wil maken, of waar men het ondergronds afvloeiende water voor lager gelegen gebieden goed kan gebruiken, is het opzetten van een diepe grondwaterstand volkomen aanvaardbaar. Ook zal beregening in een gebied met geringe verdroging van de gewassen te hulp geroepen kunnen worden om vertraagde groei ten gevolge van niet geheel optimale vochtverzorging tegen te gaan.

De verhoudingscijfers geven echter een beeld van de omvang van het areaal, geschikt voor beregenen en peilregelen, die men ter bepaling van de gedachten vooreerst zou mogen aanhouden totdat ten aanzien van alle details, die dit alternatief beheersen een duidelijker inzicht zal zijn verkregen.

3. De kosten van de waterbeheersing

De rentabiliteit van de waterbeheersing zal sterk afhangen van de meeropbrengsten, die men zal kunnen bereiken. Veel hangt hier af van de vochthoudendheid van de grond. Hiervoor algemene regels te geven valt buiten het bestek van deze beschouwing. Ook is van belang, in welke mate men met beregening of peilbeheersing de theoretisch optimale oogsten zal kunnen benaderen. Gewezen zal nog worden op enkele proefveldresultaten, die op voordelen van de peilregeling lijken te duiden.

Ten aanzien van de kosten van aanleg en gebruik van de waterbeheersingssystemen is bij beregening reeds veel meer ervaring verzameld dan ten aanzien van peilregeling. Deze ervaring is echter niet als richtlijn voor de toekomst te beschouwen, omdat de beperkte toepassing nog niet een volledig inzicht geeft in de moeilijkheden, die bij algemeen gebruik zullen optreden door daling van het grondwaterpeil of door toenemende afvoeren. De huidige ervaring zal iets te gunstig uitvallen vergeleken bij een toekomstige situatie van algemeen gebruik.

Uit kostenbecijferingen voor beregening ontleend aan onderzoek van Baars (1954) en uit beschouwingen over grondwaterpeilregeling van de hand van Mesu (nog niet gepubliceerd) werd een vergelijking van beide waterbeheersingssystemen ontworpen. De kosten voor peilregeling werden nog eens getoetst aan de begroting voor een derge-

lijk project dat in de laatste tijd werd opgemaakt. Verder werd gebruik gemaakt van de door VAN ROSSUM (1955) afgeleide regel, dat de kosten van wateraanvoer toenemen met de wortel uit het maximaal door de leidingen te vervoeren debiet.

TABEL 1. V.V.V.-droogteklassen in procenten

	I	II	III	IV
	verdrogend	droogtegevoelig	goed	nat
Groningen	14	28	35	23
Friesland	11	56	15	18
Drente	5	25	43	26
Overijssel	9	41	44	6
Gelderland	12	22	56	9
Utrecht	8	23	64	5
Noord-Brabant	25	33	39	3
Limburg	6	52	13	1

TABEL 2. Wintergrondwaterstanden onder maaiveld in procenten

	Oppervlakte zand+veen-gebied	0–20	20–40	40–70	70–100	100–400	140–200	> 200
Groningen	60 000	16	25	34	16	6	2	1
Friesland	68 000	53	23	15	5	3	1	0
Drente	185 000	22	19	28	13	8	7	3
Overijssel	173 000	22	26	30	12	6	2	2
Gelderland	217 000	10	56	12	8	6	3	5
Utrecht	18 000	15	27	33	9	7	3	6
Noord-Brabant	230 000	14	20	31	14	9	7	5
Limburg	111 000	13	14	18	15	13	20	7

TABEL 3. Oppervlak met voorkeur voor een waterbeheersingsmethode

	In procenten			In 1000 ha		
	Beregening	Beregening of peilregeling	Peil-regeling	Beregening	Beregening of peilregeling	Peil-regeling
Groningen	9	33	58	5,4	19,7	34,8
Friesland	4	63	33	2,7	42,8	20,4
Drente	18	13	69	33,3	24,0	127,7
Overijssel	10	40	50	17,3	69,2	86,5
Gelderland	14	21	65	30,4	45,5	141,1
Utrecht	16	15	69	2,9	2,7	12,4
Noord-Brabant	21	37	42	48,3	85,1	96,6
Limburg	40	46	14	44,4	51,1	15,5
Totaal in 1000 ha				184,4	335,1	534,3
Totaal in procenten				17,5	31,8	50,7

Een onderscheiding naar vaste kosten en kosten van onderhoud en gebruik, die met de totaal te vervoeren hoeveelheden water samenhangen, voert tot het volgende overzicht.

Kosten van verstrekken van x mm water per ha en per jaar:

peilregeling . . . . $60\sqrt{x_{max.}} + 0{,}10$ x tot.
beregening. . . . . 100 $+ 0{,}75$ x tot.

Hierin geeft $x_{max.}$ het maximale debiet aan, dat door de leiding vervoerd moet worden en x tot. de aanvoer over het gehele groeiseizoen.

Zou men 150 mm met beregening moeten aanvoeren, terwijl dit bij peilregeling 2 mm per etmaal voor verdamping en 100 mm over het groeiseizoen van 150 dagen ter compensatie van ondergrondse afvoer zou vergen, dan zou de kostenvergelijking als volgt worden:

Kosten: peilberekening: $60\sqrt{2+\frac{100}{150}} + 0{,}10\,(150 + 100) = \text{f } 123{,}—$

beregening: $100 \qquad + 0{,}75 \times 150 \qquad = \text{f } 212{,}50$

Men kan berekenen, dat bij 2 mm aanvoer per dag, 150 dagen lengte van het groeiseizoen en 150 mm totale waterbehoefte over de gehele groeiperiode eerst bij een ondergronds vochtverlies van meer dan 550 mm de peilregeling duurder zou worden dan de beregening.

Bij kapitalisatie tegen 5 % zou men verder kunnen berekenen, dat aan egalisatie en aanleg van infiltratiedrains men tot f 1 800,— zou kunnen uitgeven eer ook weer in dit geval het punt bereikt wordt, waar peilregeling een hoger totaal kostenbedrag per jaar en ha bereikt dan beregening. Hieruit blijkt wel, dat de ondergrondse verliezen het resultaat van de vergelijking van de beide methoden minder beïnvloeden dan een eventuele noodzaak van egalisatie.

Verder kan men berekenen, dat bij onregelmatige watertoevoer, waarbij om tot eenzelfde totale hoeveelheid x tot. te komen het maximale debiet $x_{max.}$ hoger dient te worden genomen, bij 11 mm maximaal debiet de kosten van beregenen en peilregelen gelijk worden.

De betekenis hierval zal sterk afhangen van het al of niet noodzakelijk gebruiken van het leidingstelsel voor de waterafvoer in de winter.

Men mag uit het voorgaande concluderen, dat aanpassing aan of wijziging van de hoogtetopografie het economisch belangrijkste probleem is. De ondergrondse waterverliezen vormen het economisch probleem, dat in belangrijkheid hierop volgt, terwijl het onregelmatige afnemen van water het in belangrijkheid daarop volgend probleem vormt.

4. De maximale aanvoercapaciteit van de leidingen

Wanneer wateronttrekking aan de ondergrond op omvangrijke schaal niet mogelijk is, zal voor beregening water van buiten moeten worden aangevoerd. Hetzelfde

geldt, indien een afwezigheid van ondoorlatende lagen peilregeling met water uit de ondergrond onmogelijk maakt. In deze gevallen komt de vraag naar voren, hoe groot het stelsel van aanvoerleidingen moet worden bemeten.

De benodigde aanvoercapaciteit van de leidingen hangt ten dele af van de watervoorraad in de grond en de klimatologische omstandigheden. Daarnaast is echter de ongelijkmatigheid, waarmede men water afneemt van belang. Wacht men in het voorjaar tot de gewassen verwelken en gaat men dan snel het watertekort aanvullen, dan zal de noodzakelijke capaciteit van wateraanvoer vrij wat hoger moeten worden gekozen, dan bij een regelmatige aanvoer die reeds in het vroege voorjaar aanvangt.

Een zo laag mogelijke maximale aanvoercapaciteit kan men het beste baseren op de verdampingscijfers zoals die thans uit klimatologische gegevens kunnen worden berekend (VAN WIJK, DE VRIES en VAN DUIN, 1953; VAN WIJK en DE VRIES, 1954; MAKKINK, 1955). Over de werkelijke verliezen die met het karakter van de vochthoudendheid van de grond veranderen is nog onvoldoende bekend om daarmede reeds rekening te kunnen houden. Ondergrondse waterverliezen kunnen wegens hun variabiliteit en wegens de omstandigheid dat wat wegzakt elders weer beschikbaar komt, beter als onderdeel van een bepaald project worden berekend en aan de maximale aanvoercapaciteit worden toegevoegd.

De regenvalcijfers vormen een tweede uitgangspunt voor de bepaling van de aanvoercapaciteit. Zij dienen te worden gesorteerd naar de kansen op perioden van opklimmende lengte en afnemende regenval. Ook deze wijze van samenvatten is onderwerp van studie en kan worden gegeven in een vorm die zich speciaal op de waterbeheersing richt (VISSER, 1955).

Als laatste bouwsteen is de bodemkaart van belang, welke de bodemverschillen weergeeft in mm waterhoudend vermogen, dat voor de plant toegankelijk is. Ook deze

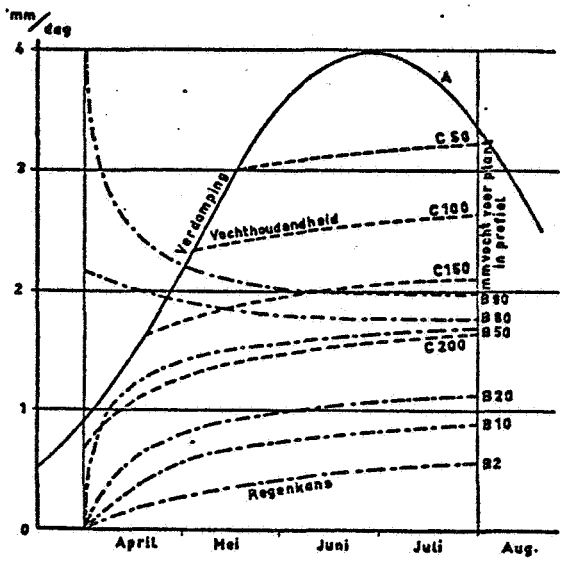


FIG. 2.
Diagram, waarbij uit de samenhang tussen regenval, verdamping en vochthoudend vermogen van de bodem, de hoeveelheid aan te voeren water, vereist om droogteschade te voorkomen, af te lezen is.

FIG. 2.
From this diagram of the relation between rainfall, evaporation and capacity of the soil to retain moisture, one can read the quantity of water necessary to prevent damage during dry spells.
Cette diagramme, indicateur de la relation entre la précipitation, l'évaporation et la capacité de la terre de retenir l'eau, donne aussi la quantité d'eau nécessaire pour prévenir une perte causée par la sécheresse.

kaart wordt thans vervaardigd en zal binnenkort voor het gehele land ter beschikking staan (PONS, 1955).

In figuur 2 zijn deze gegevens in een enkel diagram samengevat. Lijn A geeft de verdampingscurve aan. Uit de regenfrequentiediagrammen zijn de lijnen B2 tot B90 geconstrueerd, die aangeven in welk percentage van de jaren drogere omstandigheden dan door de lijn voor de regenkans aangegeven, verwacht mogen worden. De lijn geeft aan welke gemiddelde dagregenval in mm men mag verwachten, dat deze, tussen 1 april en een te kiezen datum op de horizontale as, niet zal worden bereikt met een kans als bij de lijn aangegeven.

Zo zal men eens per 10 jaar in de maand april minder dan 30 × 0,6 mm regen mogen verwachten, over april en mei samen minder dan 60 × 0,8 mm en over 4 maanden na 1 april minder dan 120 × 0,9 mm.

De vochthoudendheid van de grond wordt verantwoord door de lijnen C50 tot C200. Deze zijn zo in de figuur aangebracht, dat de aan te voeren waterhoeveelheid, die men kan uitmeten als de verticale afstand tussen de B- en C-lijnen een constante waarde voor de opeenvolgende maanden aanneemt. De getalwaarden achter de C geven het aantal mm vocht in het profiel aan dat men aan het profiel maximaal wil laten onttrekken. Dit bedrag zal over het algemeen lager zijn dan het vochthoudend vermogen van het profiel.

Wanneer men een droogte, die eens per 10 jaar verwacht mag worden, als uiterste geval neemt en in nog minder regenrijke jaren dus een zekere droogteschade aanvaardt en uit het profiel tot 100 mm water maximaal wil laten onttrekken, kan afgelezen worden, dat dagelijks 1,7 mm water zal moeten worden aangevoerd. Bij ondergronds waterverlies moet hieraan dan nog een toeslag worden gegeven. Tot begin mei zal deze hoeveelheid van 1,7 mm zelfs niet nodig zijn wegens de geringe verdamping. Men zou dus, naar uit figuur 2 uitgemeten kan worden, nog een vochttekort van 50 mm kunnen aanvullen wanneer dat tekort na een droog voorjaar op 1 april eventueel zou blijken te bestaan. Voor elke 10 mm groter of kleiner vochthoudend vermogen van het profiel neemt de maximale behoefte aan wateraanvoer met 0,1 mm af of toe.

Uit figuur 2 kan men velerlei gevallen uitmeten. Begint men met de wateraanvoer bijvoorbeeld een maand te laat en wil men deze achterstand in de volgende maand inhalen dan moet bij dezelfde veronderstellingen als in het vorige cijfervoorbeeld de dagaanvoer van 1,7 mm tot 2,9 mm worden verhoogd.

Ook kan men uitmeten, dat een grond met 100 mm beschikbaar water eens per 10 jaar meer dan 187 mm wateraanvoer zal behoeven om droogteschade te voorkomen.

Het diagram in figuur 2 lijkt een zeer eenvoudig overzicht van de waterbehoefte te geven en het lijkt gewenst te overwegen, dit voor alle provincies te vervaardigen.

5. DE VERGELIJKING VAN WATERBEHEERSINGSMETHODEN

Beregening is in ons land veel jonger dan peilregeling. Het is misschien daarom, dat de beregening zoveel beter bestudeerd is, zowel wat ontwerp, als wat gebruik en bedrijfsaanpassing betreft, dan dat dit bij de zoveel oudere peilregeling het geval is. De kennis, zowel door onderzoek als door ervaring verkregen, is echter nog te een-

zijdig. Beregening is vooral toegepast als een bedrijfsmaatregel op lichtere zandgronden, met water dat aan de ondergrond wordt onttrokken. Verder is deze ervaring opgedaan onder omstandigheden, waarbij de wateronttrekking van de ene put nog niet door die aan vele andere wordt gestoord.

De peilregeling kennen wij het beste met water van buiten het gebied, in waterschapsverband op grote oppervlakten vlakliggend goed polderland toegepast.

Voor een goede vergelijking van beide methoden zal het van belang zijn, te weten hoe het resultaat wordt beinvloed door de wijze van waterontlening, de grootte van het gebied, de bodemkundige toestand wat betreft vochthoudendheid, doorlatendheid en hoogtetopografie. Tegenover de bedrijfsberegening met water uit de ondergrond zou men gaarne willen stellen de gezamenlijke beregening van grote gebieden met van buiten aangevoerd water. Naast de waterschapsgewijze peilregeling zou gesteld moeten worden het opzetten van sloten en greppels in eigen bedrijf met water uit een put.

a. De herkomst van het water

Bij aanvoer van water van buiten het gebied dienen werken van grote omvang te worden aangelegd wanneer men althans waterbeheersing op grote gebieden wil gaan toepassen. Veelal zal gepompt moeten worden. De kosten van dit pompen worden veelal als een ernstig bezwaar gezien, maar dit zal blijken, sterk mee te vallen. De aanleg van de aanvoerkanalen zal wel zeer kostbaar zijn (HUBERTS, 1955). Men zal van bestaande kanalen gebruik moeten maken dan wel de vergroting van afvoercapaciteit, waar die nodig mocht zijn, in een zodanige vorm moeten uitvoeren, dat hiervan ook de aanvoer profiteert.

Door water van buiten aan te voeren zal men de afvoer doen toenemen en op sommige plaatsen ernstig wateroverlast kunnen krijgen. Ook bij beregenen met water uit kanalen dient hierop te worden gerekend wegens de vermindering van het vochtbergend vermogen bij vochtig gemaakte grond. Men zal de trancheleidingen zo moeten traceren, dat de afvoerleiding van een hoger gelegen gebied gebruikt kan worden als de toevoerleiding van het lager gelegen gebied. De kosten rusten dan niet alleen op de wateraanvoer.

Het kan van belang zijn, diep ontwaterde gebieden in het voorjaar met water te vullen en zo een watervoorraad te vormen en gelijktijdig de vochthuishouding van deze gronden wat te verbeteren. Bij diep ontwaterde gronden heeft een hoge winterstand waarde voor het produktievermogen, ook al is de zomerstand laag (BLOEMEN, 1951).

In een afzonderlijke bespreking van de opzet van een peilregelingsplan zal op waterverdeling en mogelijke onderlinge hinder door watergebruikers nog nader worden ingegaan.

Bij de onttrekking aan putten dreigt bij massaal pompen een daling van de grondwaterpotentiaal. Speciaal bij wat minder doorlatende gronden kan dit moeilijkheden veroorzaken, die slechts door diepe pompkelders of diepwelpompen kunnen worden opgeheven. Waar men water van onder een ondoorlatende laag wegpompt kan eveneens aan het massaal oppompen een grens zijn gesteld. Het zal van belang zijn, van de diepere ondergrond van daarvoor in aanmerking komende delen van ons land een

overzicht te ontwerpen, waaruit kan blijken, of de moeilijkheden die men vermoedt binnen een grens liggen, die voor de landbouw belangrijk is. Waar men voor beregening voldoende water van onder een slecht doorlatende laag kan oppompen, bestaat zowel de mogelijkheid dit water voor beregenen te gebruiken als voor peilregeling.

Omtrent studies betreffende de invloed van wateroppompen op de grondwaterstand in zandgronden met goed grondwaterpeil, alsmede omtrent de onderlinge invloed van onttrekking, regenval en grondwaterdiepte wordt door anderen gerapporteerd (VAN NES, 1957).

b. De eigenschappen van de bodem

De betekenis van het vochthoudend vermogen ter bepaling van de maximale aanvoer van water werd reeds eerder besproken. Bij beregening is echter nog van belang, dat de hoeveelheid water, die men ineens kan geven, bij groter vochthoudend vermogen groter kan zijn, waardoor de behoefte aan werkkracht voor het in bedrijf hebben van de beregeningsapparaten gunstiger uitvalt. Beregening zal minder arbeidsmoeilijkheden geven naarmate de grond vochthoudender is, maar zal, afhankelijk van dezelfde vochthoudendheid, minder opbrengstvermeerdering geven. Er zal dus ergens een waarde zijn aan te geven, waar beregening het beste werkt.

Bij weinig vochthoudende gronden zal men vrijwel steeds een goede doorlatendheid aantreffen, wat een voordeel is voor peilregeling. Wanneer het maaiveld voldoende vlak ligt, lijkt de voorspelling dan ook niet gewaagd, dat bij de lichtste gronden peilregeling het meest in aanmerking komt. De huidige praktijk toont bij de bollengronden de juistheid van deze stelling wel aan. Bij zeer ondoorlatende gronden krijgt onder bepaalde omstandigheden, zoals bij de vroege aardappelbouw in Geestmerambacht, de beregening nog een goede kans. Het minder gunstige resultaat op knipgronden zou wellicht nog eens nader bezien moeten worden.

De grote betekenis van ongelijke hoogteligging is voldoende bekend. Op de mogelijkheden van eenvoudiger egalisatiemethoden zal nog afzonderlijk worden gewezen.

Ten slotte mag er nog op worden gewezen, dat ondoorlatende lagen tot 80 cm diepte bij beregening een voordeel kunnen betekenen, maar bij peilregeling een nadeel vormen. Veel moeilijkheden brengt dit verschil in eisen echter niet teweeg, omdat in de huidige ontwikkeling beregening eerst komt en er voor eventueel later in toepassing brengen van een peilregeling niets is geschied dat weer hersteld zou moeten worden.

c. De grootte van de waterbeheersingseenheid

Bij beregening is de eenheid van aanpakken het bedrijf. Dit heeft vele voordelen. De beslissingen liggen in één hand en zijn snel te nemen. De vooruitstrevende landbouwer is vrij en wordt door minder voortuitstrevende vakgenoten niet geremd. Wel staan hier nadelen tegenover. Het versnipperde bedrijf is technisch moeilijk te helpen. Een goed aaneengesloten vorm is veel minder kostbaar te beregenen. Verder valt de beregeningsactiviteit in een drukke tijd. Een goed gebruik van deze methode van waterbeheersing stelt nogal hoge eisen aan de bedrijfsleiding.

Grotere gebieden kan met coöperatief aanpakken, waarbij de moeilijkheden van de versnippering van het bedrijf of de eisen aan tijd en aan kennis alle een goede oplossing kunnen vinden. Een coöperatie is als organisatievorm echter nog aan enkele bedenkingen onderhevig. Men zou er een oplossing voor moeten vinden dat voor het leggen van de transportbuizen de eigendomsgrenzen van wie niet meedoet geen hinderpaal in de weg kunnen leggen. Ook de mogelijkheid van uittreden uit de coöperatie kan op velerlei wijzen moeilijkheden geven. Een organisatievorm met wat grotere bevoegdheden zou wenselijk zijn.

Bij vergroting van het gebied zal men snel een grens bereiken, waarboven van een coöperatieve opzet weinig voordelen meer zijn te verwachten, maar wel meer nadelen. Beregening is naar zijn aard het meest geschikt voor eenheden van enkele tientallen ha.

Peilregeling is eveneens per bedrijf uitvoerbaar en heeft daarbij behoudens het nadeel van de randverliezen alle voordelen die ook bij beregening werden genoemd, terwijl de nadelen van inpassing van deze methode van water geven in het bedrijf wat minder groot zijn. Versnippering is hier echter ook een groot bezwaar.

Wanneer men tot grotere eenheden overgaat verminderen de nadelen snel, betrekkelijk onafhankelijk van de bereikte grootte. Peilregeling is een waterbeheersingsmethode, die zich bij voorkeur in waterschapsverband zal moeten realiseren. Wanneer men daarbij echter de richting zou uitgaan van watertoewijzing via meetstuwen met tussenkomst van watercontroleurs, zal men de uitvoering in eenheden van geringe omvang moeten opdelen. Een systeem, dat geheel op de automatische regeling van peilen gebaseerd is, kan het zonder de watertoewijzing naar tijd en hoeveelheid stellen en vergt geen staf van controlerende beambten. Deze methode is daardoor niet in grootte beperkt en zal ook verder bepaalde voordelen bezitten, die een regeling heeft die werkt zonder tussenkomst van bepaalde ambtenaren en zonder het nemen van de moeilijke beslissingen, die zich voordoen bij verdeling van begeerde zaken als water en gunstige toevoertijden. Het valt te voorzien, dat de automatische methode van peilregeling lagere maximale debieten zal vergen en in dit opzicht goedkoper zal zijn.

Het lijkt dan ook juist, hierna het peilregelingssysteem, dat voor nadere uitwerking in aanmerking moge komen, in algemene trekken te schetsen.

6. Het ontwerp van een peilregelingsplan

Bij het opstellen van een grondwaterpeilregelingsplan dient men aan een aantal punten aandacht te schenken. Deze kunnen in vier groepen worden ingedeeld.

1. De waterstand moet zich binnen een bepaalde variatiebreedte aanpassen aan de maaiveldtopografie. Deze variatiebreedte zal van de orde van 30 tot 40 cm mogen zijn. Wanneer dit door plaatselijke grondwaterpeilcorrecties mogelijk is, zal dit aanzienlijk lagere kosten met zich brengen dan wanneer de ontwateringsdiepte door egalisatie zou moeten worden geregeld. Ten aanzien van de egalisatie zal men zich er wel van dienen te vergewissen hoe het grondverzet, gezien de eisen van grond en gewas, zo goedkoop mogelijk kan worden uitgevoerd.
2. De optimale waterstand zal tijdens regen en droogte zo goed mogelijk moeten worden gehandhaafd. Hiertoe dient het infiltratiesysteem voor alle percelen volgens

gelijke normen te worden berekend, terwijl het slootpeil, dat drainage en infiltratie beheerst, over het gehele gebied op een bij het waterbeheersingssysteem aangepaste wijze dient te worden ingesteld.

3. Het grondverzet voor de leidingen dient zo klein mogelijk te worden gehouden door het aan te passen aan de ondergrondse waterafvoer en door gebruik te maken van plekken waar het water gemakkelijk tot indringing komt. Een goede richtlijn zal daarbij zijn er voor te zorgen dat het bij stroming optredende drukhoogteverlies zoveel mogelijk wordt verbruikt door stroming door de grond en zo weinig mogelijk door stroming door open leidingen.
4. Het plan dient wat betreft het aantal en de aard van de kunstwerken rekening te houden zowel met de kosten van aanleg als met de waarschijnlijkheid dat het gewenste zeer zorgvuldige gebruik van alle waterbeheersingsmiddelen zal lijden onder een teveel aan te verzorgen stuwen.

a. De tolerantie in de ontwateringsdiepte

Ten aanzien van de nauwkeurigheid, waarmede grondwaterspiegel en maaiveld evenwijdig aan elkander lopen, mogen geen te extreme eisen worden gesteld. Afgewogen zal moeten worden, wat men wint aan produktievermogen door de nauwkeurigheid van de vlakke ligging van het maaiveld te vergroten en welke kosten dit zal vergen. De ontwateringsdieptecurve voor de gewassen kan een inzicht geven in de invloed op het produktievermogen, zie figuur 3.

Deze figuren tonen steeds weer aan, dat men bij slechte ontwatering zeer nauwkeurig op onregelmatigheden in de hoogteligging zal moeten letten, maar dat men bij optimale ontwatering een vrij ruime tolerantie heeft. Afwijkingen tussen de grootste en kleinste ontwateringdiepte van 30 à 40 cm geven veelal nog geen opbrengstdalingen van ontoelaatbare grootte. De eisen van egalisatie zijn bij peilregeling van geheel andere orde dan bij bevloeiing.

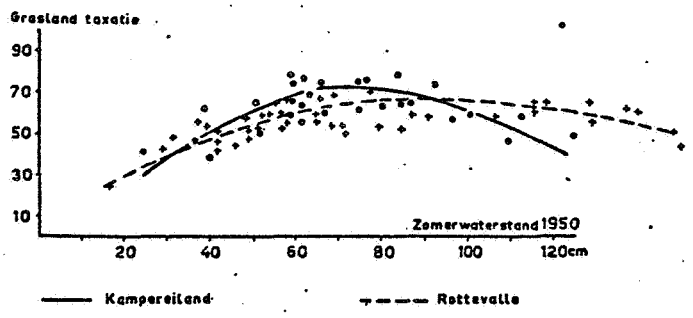


FIG. 3.
Indien de ontwateringsdiepte optimaal is, zullen oneffenheden in het terrein geen grote invloed op het produktievermogen uitoefenen.

FIG. 3. *If the depth of draining is the best, the ruggedness of the soil will have no great influence on the yielding-capacity.*
La profondeur de drainage étant de meilleure, les inégalités du terrain n'influenceront pas fortement les moyens de production.

Men kan de grenzen van zijn afdelingen met gelijk peil dus met enige vrijheid kiezen en alleen de plekken, die meer dan 15 tot 20 cm boven of onder het gemiddelde maaiveldvlak liggen, uitlagen of ophogen.

b. De begrenzing van de peileenheden

De begrenzing van de peileenheden volgt uit de ontwateringsdieptecurven, de grondwaterdieptekaart, de hoogtekaart en de bodemkaart. Uit de bodemkaart en de ontwateringsdieptecurven kan voor elk der waterstandsopnemingspunten in het gebied voor de gemiddelde werkelijke grondwaterdiepte de oogstdepressie worden aangegeven. Hierbij kan worden aangegeven, of de depressie door te hoge of te lage standen ontstond. Dergelijke overzichten kan men tevens maken voor veronderstelde waterstanden, die een opklimmend aantal decimeters hoger of lager liggen dan de gemiddelde ontwateringsdiepte.

Door in deze reeks kaarten de gebieden te omgrenzen met een opbrengstdepressie die binnen vooraf vastgestelde grenzen blijft, krijgt men een overzicht zowel van de stijging of daling, die het huidige grondwatervlak dient te ondergaan als van de grenzen, die men aan de eenheden met een gelijke peilcorrectie dient te geven.

De volgende stap bestaat uit het maken van een kaart, die zowel de peilcorrectieafdelingen als de hoogtelijnen voor de gewenste grondwaterspiegel geven. De aanvoer- en afvoerleidingen, die het water moeten vervoeren dat de correctie aan de veelal hellende grondwaterspiegel moet teweeg brengen, zullen in grote trekken evenwijdig aan de hoogtelijnen van het gewenste grondwatervlak moeten lopen. Daar ten aanzien van de ontwateringsdiepte enige tolerantie mogelijk is, zal men voor het tracé van deze leidingen in horizontale richting een zekere speling kunnen toelaten, die afhangt van de toelaatbare verticale speling. Naarmate het terrein meer helt, zal deze horizontale speling geringer, naarmate het terrein vlakker ligt zal hij groter mogen zijn. Van deze horizontale speling in het tracé van de watergangen zal men een goed gebruik kunnen maken, bijvoorbeeld door de nieuwe leidingen aan te passen aan de bestaande perceelsindeling.

Ten slotte dient men op de kaart aan te geven, waar de terreinhoogte binnen het peilcorrectiegebied zoveel van het gemiddelde afwijkt, dat ter voorkoming van te grote oogstdepressie gewenst is, of wel uit nieuwe sloten vrijkomende specie met voordeel kan worden verwerkt.

c. De richtlijnen voor minimale egalisatie

Bij egalisatie wordt in het huidige tijdsbestek vooral veel aandacht gegeven aan de problemen van de mechanische uitvoering en worden in verband met de noodzaak, de kosten zoveel mogelijk te drukken, de vragen van hydrologische en bodemkundige aard niet steeds voldoende als richtlijn voor de uitvoering gekozen. De volgende overwegingen kunnen echter evenzeer van belang zijn om de kosten van uitvoering laag te houden.

1. Egalisatie onder helling. Het doel van egalisatie moet zijn overal een gelijke diepte van ontwatering te scheppen. Waar het grondwater een helling vertoont dient aan het maaiveld eenzelfde helling te worden gegeven. Zou tot horizontale ligging worden geëgaliseerd, dan zou dit vrijwel steeds meer grondverzet vergen, terwijl een deel van het perceel te hoog boven het grondwater komt te liggen, een ander deel een onvoldoende ontwatering krijgt. De kosten nemen toe en het resultaat neemt daarbij af. De andere doelstellingen, die men met egalisatie nastreeft, hebben zelden nadeel van het op helling leggen, zodat het aanpassen aan de grondwaterspiegel wel als richtlijn kan worden genomen.

2. Het terugzetten van de bouwvoor. Wanneer men de bouwvoor terugzet betekent dit 1000 tot 2000 m³ meer grondverzet. Het doel van dit grondverzet is het behouden van het grotere vochthoudend vermogen van de bovengrond en de voorraad meststoffen, die in de bovenlaag aanwezig is. Het zal van belang zijn na te gaan hoe hoog men de waarde van de meststofvoorraad mag aanslaan. Vermoedelijk zal dit bedrag bescheiden zijn tegenover de kosten van het terugzetten van de bovengrond.
Ten aanzien van het vochthoudend vermogen mag worden opgemerkt, dat bij een optimale ontwateringsdiepte de betekenis van een humusgehalte van de bouwvoor maar zeer gering is. Wordt hieraan nog een goede waterbeheersing toegevoegd, dan bestaat er weinig twijfel meer over, dat het vochthoudend vermogen van de grond van geringe betekenis is en wellicht zelfs zonder betekenis zal zijn. Figuur 4 geeft het resultaat van een onderzoek weer waar de invloed van de grondwaterdiepte en de dikte van de humeuze laag op de opbrengst wordt weergegeven, een resultaat dat met meerdere andere zou zijn aan te vullen.

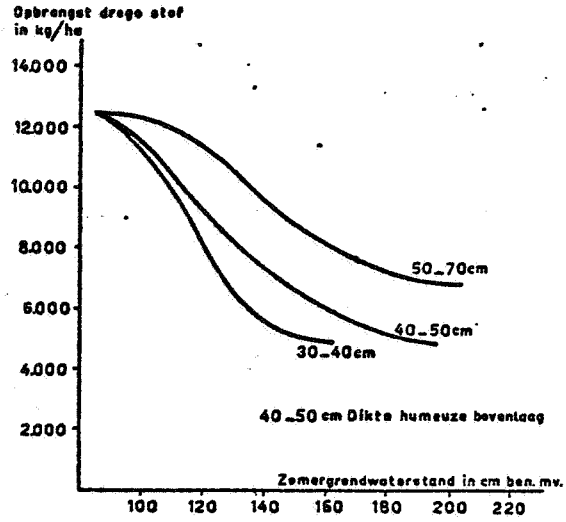


FIG. 4.
Verband tussen zomergrondwaterstand en opbrengst van voederbieten op zandgrond bij verschillende dikte van de humeuze bovenlaag. Overgenomen uit: W. H. SIEBEN: Het verband tussen grondwaterstand en opbrengst in het Veluwegebied ten Z.O. van de toekomstige Oosterpolder. Voorlopig rapport Dir. Wieringermeer, 1950.

FIG. 4.
Relation between the groundwater level in summer and the yield of fodder beets on a sandy soil with variable thickness of the humus-layer.

Relation entre la nappe souterraine en été et le rendement de betteraves en cas d'un sol sablonneux avec une couche d'humus de grosseur variante.

Opbrengst droge stof = *yield (dry matter)* = *rendement (matière à sec).*

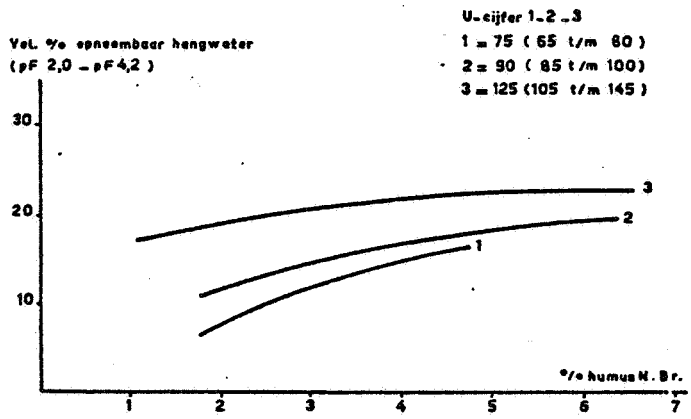


FIG. 5.
Verband tussen de hoeveelheid voor de plant opneembaar water en het humusgehalte bij zandgronden met een verschillend U-cijfer.

FIG. 5. *Relation between the amount of water assimilable by the plant and the humus content of sandy soils with a varying U-figure.*
Relation entre la quantité d'eau que la plante peut assimiler et la teneur en humus en cas des sols sablonneux avec un chiffre U différent.

Een ander punt van belang is of de ondergrond inderdaad wel een veel geringer vochthoudend vermogen heeft dan de bouwvoor. Wanneer het profiel uit fijne zanden bestaat, zijn vergissingen op dit punt niet uitgesloten.
In figuur 5 wordt weergegeven, hoe de hoeveelheid voor de plant opneembaar water afhangt van het humusgehalte, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar de grofheid van het zand, weergegeven door het U-cijfer. Uit deze figuur blijkt wel dat bij fijnzandige gronden een achteruitgang van het humusgehalte veel minder afneming van het vochtbergend vermogen veroorzaakt dan bij grofzandige gronden. Men dient wel te overwegen of de grotere kosten van het terugzetten van de bouwvoor door een geringe toeneming van het vochthoudend vermogen wordt gewettigd. Een grove maat daarbij kan zijn, dat een toeneming per ha van het vochthoudend vermogen met 1 m³ bij droogtegevoelige gronden ongeveer een toeneming van de waarde van de grond met zich brengt van f 1,—. Wanneer men nu gemiddeld door terugzetten van de bouwvoor omstreeks 5 volumeprocenten vochtbrengend vermogen of 10 tot 15 mm vocht kan winnen, dan bedraagt de winst in waarde van de grond f 100,— tot 150,— en mag er aan dit terugzetten omstreeks f 500,— worden ten koste gelegd.
Het egaliseren zal bij volledige waterbeheersing volgens veel eenvoudiger methoden mogen worden uitgevoerd dan thans gebruikelijk zijn. Zelfs zonder waterbeheersing is het de vraag of de egalisatie volgens de huidige gebruiken niet een te grote investatie nodig maakt.

3. Het egaliseren in algemeen verband. Bij waterbeheersingswerken zal het gewenst zijn het egalisatiewerk aan te pakken zonder beperking door eigendomsgrenzen. Het is de vraag of dit thans reeds mogelijk is binnen een andere wet dan die voor de ruilverkaveling. De minst kostbare oplossing zal vereisen, dat men

grond van het ene perceel naar het andere brengt, dat men de specie uit nieuw gedolven sloten in de lage gedeelten voor ophoging kan gebruiken enz. In dit licht gezien zijn vele van de huidige egalisaties minder doelmatig, omdat na de egalisatie de maaiveldshoogte niet met de meest gewenste boven het grondwaterniveau overeenkomt. Men zou wellicht reeds thans bij kostbare objecten van grondverzet zich een beeld moeten vormen van de toestand, die in een toekomstig waterbeheersingsplan het beste zou passen.

d. De berekening van infiltraties

Het handhaven van de waterstand, die voor elk moment van het jaar als de optimale kan gelden, vereist het instellen van het peil in de sloten op zodanige hoogte, dat een teveel aan water uit het land snel kan afvloeien, of in het tegenovergestelde geval een tekort aan water snel kan worden aangevuld. Dit vereist een zorgvuldige berekening van het drainage-infiltratie-systeem, zodat bij gelijke stijging van het slootpeil overal een ongeveer gelijke capaciteit van infiltratie of drainage wordt verkregen. Daarnaast dient het slootpeil over het gehele gebied snel op het gewenste peil te worden gebracht waardoor de afvoer uit – of het indringen van het water in – de akker wordt gestimuleerd, zodat de grondwaterspiegel na een verstoring weer op de juiste hoogte wordt gebracht.

De slootafstand kan in een aantal gevallen zo worden gekozen, dat geen verdere hulpmiddelen nodig zijn om bij een bepaalde peilverandering in deze sloten 2 of 3 mm water in het land te doen binnendringen. In tabel 4 is aangegeven, welke voorwaarden van leemdiepte en doorlatendheid vervuld moeten zijn om met 50 m slootafstand en een verval m de 3 mm water per etmaal tot indringen te brengen, die voor een constant houden van het grondwaterpeil nodig zijn. De vereiste leemdiepten en door-

TABEL 4. Noodzakelijke doorlaatfactor K bij slootafstand 50 m en hydraulische straal sloot 0,5 m voor opklimmende drukhoogte m en een watertoevoer van 3 mm per etmaal

Leemdiepte beneden maaiveld	Factor d volgens HOOGHOUDT afgerond	Waarde van m						Vermenigvuldigfactor voor K voor slootafstand 100 m
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
1,00	0,50	18,8	9,4	6,2	4,7	3,3	3,1	4
1,25	0,75	12,5	6,2	4,2	3,1	2,5	2,1	4
1,50	1,00	9,4	4,7	3,1	2,4	1,9	1,6	4
1,75	1,25	7,5	3,7	2,5	1,9	1,5	1,3	4
2,00	1,50	6,3	3,1	2,1	1,6	1,3	1,0	4
2,50	2,00	4,7	2,4	1,6	1,2	0,9	0,8	4
3,00	2,40	4,4	2,2	1,5	1,1	0,8	0,7	3,9
3,50	2,80	3,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	3,8
4,50	3,50	2,7	1,3	0,9	0,7	0,5	0,5	3,7
5,50	4,00	2,3	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	3,6
6,50	4,50	2,1	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	3,5
7 50	4,75	2,0	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	3,3

laatfactoren komen in voldoende grote oppervlakten in ons land voor om door middel van de kavelsloten alleen een belangrijke mogelijkheid tot verwerkelijking van de waterbeheersing te vormen.

Op andere plaatsen zullen drainage- en infiltratiestelsels nodig zijn. Ook deze zal men zo dienen te berekenen, dat men met eenzelfde drukhoogte per tijdseenheid overal evenveel water kan aan- en afvoeren.

e. Het instellen van het slootpeil

De oplossing van de vraag, hoe men over een groot gebied met verschillende peilafdelingen het slootpeil kan regelen ter compensatie van grondwaterdiepteveranderingen door regenval of verdamping, zal in een juiste opzet van het plan gelegen zijn. Het verband tussen regen of verdamping enerzijds en slootpeilregeling anderzijds is wel zeer gecompliceerd om het de landbouwers zelf te laten verzorgen. Onjuiste grondwaterstanden en grote debieten in de toevoersloten zouden hier het gevolg van kunnen zijn.

Het moet nu mogelijk zijn een stuw te construeren, die de peilen van twee peilafdelingen bij afvoer van de hoge afdeling naar de lage zodanig instelt dat tussen de peilen in het midden van de peilafdelingen een constant verschil wordt gehandhaafd. Stroomt geen water af, dan zal de stuw dit constante verschil keren. Stroomt er water af, dan moet de stuw zoveel zwichten als overeenkomt met de door de stroming verloren drukhoogte. Met deze stuwen zal het mogelijk zijn onder aan de hoofdafdeling een regelsluis zodanig te bedienen, dat het water over alle peilafdelingen ongeveer gelijktijdig met eenzelfde bedrag daalt, terwijl de aanvoer van water door de hoofdkanalen boven aan de hoofdleiding een aanvoer kan verzorgen, die wederom, afhankelijk van de regelstuw, in alle afdelingen het peil kan doen stijgen.

De automatisering van de stuwen heeft het voordeel, dat slechts weinige stuwwachters de gecompliceerde samenhang tussen het klimaat en de stand van de stuwen behoeven te beheersen. Deze stuwwachters kunnen de hantering van de stuw met grote nauwkeurigheid leren uitvoeren. Hierdoor kan de bevolking van een stroomgebied dezelfde goede waterbeheersing verkrijgen als die in onze vlakke polders, terwijl de waterbeheersing hun niet stoort in hun werk en de concentratie op de vele overige moeilijke vraagstukken van hun bedrijf.

f. De bodemeigenschappen en de plaats van de leidingen

Alleen het water dat door de grond stroomt komt de peilregeling ten goede. Het water dat door leidingen naar lager gelegen plekken stroomt vertegenwoordigt, hoewel veelal noodgedwongen, een verspilling van drukhoogte en wat betreft de aanleg van de leidingen tevens een verspilling van grondverzet. Men zal de infiltratieleidingen dan ook, zo mogelijk, moeten leggen op de plaatsen waar het water snel tot infiltratie komt. In bepaalde gevallen zal men de diepte van de sloot moeten aanpassen aan de doorlatendheidseigenschappen van het profiel. Op deze doorlatende plekken kan een enkele leiding de grondwatervoorraad meer aanvullen dan een aantal leidingen op plaatsen waar de infiltratie moeilijker verloopt. Hierdoor kan het aantal leidingen worden ver-

minderd terwijl een leiding, die meer water moet transporteren een relatief kleiner grondverzet vergt, dan een aantal leidingen met elk een kleine capaciteit. Men zal de grondwaterdieptekaart en de bodemkaart moeten bestuderen om de plaatsen te vinden waar de leiding het beste kan worden gelegd.

g. Het aantal kunstwerken en de vorm van het leidingennet

Een gedetailleerde aanpassing van de peilen aan de hoogtetopografie vereist een groot aantal kunstwerken. Dit werkt echter wegens het vele werk van zorgvuldige regeling van de waterhuishouding niet in de hand en is kostbaar. Men kan dit ondervangen door het leidingennet in hoofdzaak de hoogte lijnen te laten volgen en slechts enkele leidingen de hoogtelijnen te laten snijden. Voor dit laatste zijn de waterscheidingen de aangewezen plaatsen, omdat daar het volgen van de hoogtelijnen zijn zin gaat verliezen. Ook zal hier het meeste water de grond indringen. De oude beken liggen in dit systeem als wateraanvoerleidingen op de verkeerde plaats. Zij kunnen echter, bijvoorbeeld door op de grenzen van de peilafdelingen hevelstuwen te plaatsen, als hoogwaterafvoer dienen tezamen met de leidingen over de waterscheidingen en dus in functie blijven. Alleen in deze enkele tranche kruisende leidingen zijn stuwen nodig, zodat men met een gering aantal van deze kunstwerken kan uitkomen. Ten aanzien van de mate, waarmede men op deze wijze het aantal kunstwerken kan verminderen zal veel afhangen van de hoogtetopografie van het gebied. In nauwe diepe dalen valt veel minder te bereiken dan in relatief vlakke gebieden, waar vele zijriviertjes zich geleidelijk tot een enkele beek verenigen.

7. Het sociale element en de waterbeheersing

Bij alle plannen van waterbeheersing staat op de achtergrond, dat men technisch een systeem fraai kan opzetten en uitvoeren, maar dat uiteindelijk de landbouwende bevolking er voor moet zorgen, dat alle mogelijkheden worden uitgebuit. In dit opzicht zijn de resultaten tot dusver niet alle even tevredenstellend. Een ruim aantal in Oost-Brabant bezochte beregeningsbedrijven bleek slechts zeer weinig aan intensivering gedaan te hebben (Lardinois, nog niet gepubliceerd; Huberts, 1955). De peilregeling in Bergeyk heeft wel intensivering ten gevolge gehad, in de Zijpe is dit echter weinig het geval geweest.

In deze ontwikkeling steekt iets tegenstrijdigs. De grote belangstelling en de snelle uitbreiding van de waterbeheersing lijkt niet te rijmen met een geringe neiging, om deze vrij kostbare verbetering zich betaald te laten maken door de nieuwe mogelijkheden geheel uit te putten. Het lijkt van belang zich af te vragen, of het volgende geen verklaring kan zijn.

Het is bekend en door waarnemingen is het wel bevestigd, dat door goede verzorging van grond en gewas de verdroging wordt tegengewerkt, terwijl een te geringe zorg de verdroging versterkt naar voren doet komen. Er zal op deze wat minder zorgzaam gevoerde bedrijven een grotere behoefte aan waterbeheersing bestaan en men meent

deze groep landbouwers bij de beregeningsbedrijven ook iets veelvuldiger vertegenwoordigd te zien dan bij de bedrijven zonder waterbeheersing.

Nu betekent beregening een aanzienlijke toeneming van werk en zorg. Dit zal voor alle bedrijven een aanzienlijke verzwaring van de taak van de bedrijfsleiding betekenen iets wat speciaal op de wat minder zorgzaam geleide bedrijven moeilijkheden kan geven. De groep die thans individueel tot waterbeheersing overgaat is een zekere selectie uit de boerenstand, die zeker doortastender is, maar wellicht iets minder zorgvuldig.

Zou deze verklaring in zekere mate de spijker op de kop raken, dan zal men bij beregening moeten streven naar een coöperatieve werkwijze, waarbij een groot deel van het werk van verplaatsen en het op tijd tewerkstellen van apparaten door personeel van de coöperatie zou kunnen geschieden. Het is overigens de vraag of de problemen van goed hanteren van de beregening niet zo moeilijk zijn, dat een groot deel van de landbouwers vele malen zal afwijken van wat het beste gebruik zou zijn. Het gevolg hiervan zal zijn, dat de optimale oogst niet zal worden bereikt, zodat er alles voor te zeggen zal zijn, specialisten dit werk te laten verrichten. De betekenis van de zorgvuldige toepassing van de beregening en de vergelijking met de resultaten van peilregeling mogen dit en andere problemen hier nader verduidelijken.

Omtrent de vraag, welke invloed beregening en peilregeling op de produktiviteit van de grond heeft, bestaan er twee beschouwingen. Ten voordele van de beregening zou mogen gelden, dat men het water ter plaatse van de hoofdbewortelingszone geeft. Een verdeling van het vocht over het profiel, waarbij de grootste hoeveelheid bovenin voorkomt, zou een voordeel zijn boven een verdeling met de grootste hoeveelheid onderin. Dit laatste toch is de situatie bij peilregeling. In hoeverre dit standpunt van waarde is, staat nog niet vast.

De tweede beschouwing wijst er op, dat bij beregening de vochthoudendheid van de grond tot een minimumwaarde daalt, om dan weer opgevoerd te worden. De vochttoestand wisselt sterk en is gedurende een groot deel van de groeiperiode niet optimaal. Bij peilregeling kan gebruik worden gemaakt van de voortdurende wateraanvoer door capillaire opstijging en kan door grondwaterpeilvariaties toe te passen de vochtoestand van de grond dicht bij het optimum worden gehouden (WIND, 1955). Ten aanzien van de naar de tijd gelijkmatiger vochtigheidsgraad, die door peilregeling kan worden in stand gehouden, vergeleken met wat met beregening praktisch mogelijk is, bestaat weinig verschil van mening. Naarmate de grond een groter vochthoudend vermogen heeft, zullen de vochtvariaties minder groot zijn bij een gelijke frequentie van beregening. Een redelijk vochthoudend vermogen is bij een grond een voordeel bij wateraanvoer door beregening. Voor peilregeling is een wat grovere grond gunstig.

Welke betekenis de voor- en nadelen van de beide methoden voor de bodemproduktie hebben, zou uit een grote reeks vergelijkende proeven eerst met zekerheid kunnen blijken. Deze vele gegevens staan echter nog niet ter beschikking. Enkele gegevens uit de literatuur, samengevat in tabel 5 geven echter een indruk, die wel overeenkomt met wat men veelal verwacht, namelijk dat de ongelijkmatige vochttoestanden bij beregening een zeker produktieverlies veroorzaken. In dit opzicht zal berege-

ning vooral gevoelig zijn voor onvoldoende deskundige of weinig zorgzame hantering van de methode.

Bij peilbeheersing zullen maatregelen per bedrijf door randverliezen alleen in de meer rendabele gevallen of op minder doorlatende gronden een kans maken. Hier zou echter coöperatie ook zeer goed in aanmerking kunnen komen, omdat in dit geval de hoeveelheid werk gering en de controle op het handhaven van de meest gewenste grondwaterstand eenvoudig is.

TABEL 5. De opbrengsten met peilregeling en beregening

Gewas	Peilregeling	Beregening	Geen water
Rogge	100 = 36,5 q/ha	78	63
Wintergerst.	100 = 30,8	93	73
Haver	100 = 44,5	91	57
Naar C. STEIN DELITZCH, *Wasser und Boden*, december 1954			
Aardbeien	100	80	
Naar VAN DER HELM			

De grotere objecten hebben thans alleen kans in die gebieden waar toevallig water is. Hierdoor zijn nog maar weinig spectaculaire verbeteringen van droge gronden ontstaan. De grote waterbeheersingsobjecten hebben hun uitgangspunt in het polderland. Bij de hoge gronden zal de grondwaterpeilbeheersing pas een kans krijgen, wanneer de grote wateraanvoerkanalen er zijn en de helft van de ingelanden in het gebied de oprichting van een waterbeheersingsplan zijn stem geeft. Bij een dergelijke mate van belangstelling zal de waterbeheersing in waterschapsverband snelle voortgang maken. Het belangrijke verschil is toch, dat voor beregening iedereen afzonderlijk een beslissing kan en moet nemen, terwijl in waterschapsverband de uitvoering niet op de beslissing van de minderheid behoeft te wachten, maar daartegenover een meerderheid dan toch vereist is. Wat in het begin een vertraging veroorzaakt zal later tot de versnelde uitvoering zeer bijdragen.

Daarom ziet men thans de beregening sneller vordering maken dan de peilregeling. Dit zal in de toekomst echter kunnen veranderen. In figuur 6 is dit schematisch aangegeven, daarbij denkende aan de verhouding naar oppervlakte tussen de twee systemen die in tabel 3 als meest waarschijnlijk werd aangemerkt.

Hierbij mag worden opgemerkt, dat de huidige toename van het beregende oppervlak met omstreeks 1000 ha per jaar tegenover de wellicht 300 000 ha, die voor beregening in aanmerking komt nog lang niet snel genoeg gaat.

Wanneer men de toekomst van de waterbeheersing tracht te overzien, dan wordt de landbouwpraktijk voor een aantal problemen en voor een hoeveelheid werk gesteld. Voor zoverre in ons polderwezen de waterbeheersing van oudsher wordt beoefend, werd werk en problematiek in handen gelegd van de polderdeskundigen en kon de

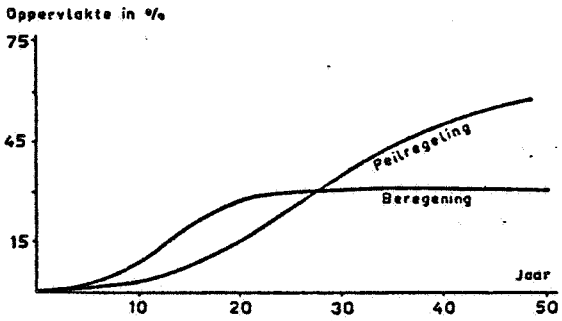


FIG. 6.
Schematische voorstelling van de te verwachten ontwikkeling in de waterbeheersingstechniek.

FIG. 6. *Diagram of the expected development in the technical skill of water-control.*
Diagramme du développement de la technique de controle (régularisation) d'eau comme on peut s'y attendre.

Oppervlakte	= *surface.*
Peilregeling	= *water-level regulation.*
	= *régularisation d'eau.*
Beregening	= *sprinkling.*
	= *arrosage.*

boer zich geheel op zijn bedrijf concentreren. Bij de beregening als jongere waterbeheersingstechniek worden werk en moeilijkheden aan de boer toevertrouwd.

Bij peilregeling investeert men de deskundigheid van gespecialiseerde ontwerpers en de zorgzaamheid van de weinige daarvoor aangestelde specialisten van het waterschap. Bij de beregening investeert men de werkkracht en het inzicht van velen, die echter nog vele andere zaken op eigen bedrijf moeten nalopen.

Peilregeling vereist een klein aantal goed opgeleide specialisten. Beregening daarentegen vergt de werkkracht van velen.

Nederland kan de specialisten zowel als de goedkope werkkrachten thans wel verschaffen. Of men in de toekomst op de goedkope werkkrachten mag blijven rekenen, is echter eerder de vraag dan dat de deskundigen beschikbaar zullen blijven. Het zal dan ook gewenst zijn, ook in de toekomst de voor- en nadelen op landbouwkundig technisch, hydrologisch en sociaal gebied tegenover elkander te blijven stellen en na te gaan, in welke richting de afweging van beregening tegenover peilregeling doorslaat.

8. DE RICHTING VAN DE ONTWIKKELING VAN DE WATERBEHEERSING

In de huidige tijd wint de beregening het in belangstelling en de verwachtingen, die men ervan koestert, ongetwijfeld van de peilregeling.

Men mag er echter niet op vertrouwen, dat dit in de toekomst zo zal blijven. Het zal bijvoorbeeld reeds thans van belang zijn, dat meer aandacht wordt gegeven aan peilregeling per bedrijf met water uit putten.

De eerste tijd zal wateronttrekking uit de grond en het kunnen beslissen voor eigen bedrijf de richting voor de verdere ontwikkeling wel bepalen. Men zal daarbij vooral aandacht aan het coöperatief uitvoeren van de waterbeheersing dienen te geven. Hiermede vervalt voor de beregening het nadeel van een slechte verkaveling, van ophoping

van werk in de drukke periode op het bedrijf alsmede van de noodzaak, de boer vele moeilijke beslissingen te laten nemen zoals de tijd van water geven en de te verstrekken hoeveelheden. Op deze wijze zal het mogelijk zijn tot een goede vergelijking van de beide systemen te komen en zal men kunnen bepalen, welk standpunt men ten aanzien van waterbeheersing in waterschapsverband op onze zandgronden zal moeten innemen

Hierbij dient bedacht te worden, dat ons polderland en onze vlakke zandgebieden, waar waterafvoer door open leidingen in de winter nodig is, wel alleen voor peilregeling in aanmerking komen, terwijl de gronden met grote ondergrondse afvoer en sterke geaccidenteerdheid alleen met beregening te helpen zijn. Het vraagstuk beregenen of wel peilregelen is van belang voor een oppervlak dat voorlopig op 300 000 ha geschat mag worden. Voor het overige deel van ons land ligt de beslissing grotendeels door de de omstandigheden reeds voor de verre toekomst vast.

LITERATUUR

BAARS, C. — De kunstmatige beregening op de droogtegevoelige zandgronden. *Landbouwk. Tijdschr. 66* (1954) 625–633.

BLOEMEN, G. W. — Twee aspecten van de grondwaterdiepte. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd. 8* (1951) 388–389, fig. 2a en b.

COMMISSIE Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland — Onderzoek nog niet gepubliceerd.

HUBERTS, M. A. J. — Kunstmatige beregening op de gemengde bedrijven in Oostbrabant. *Contactblad voor bedrijfseconomie 5* (1955) 3 (jan.) 5–10 (alleen voor intern gebruik).

LARDINOIS, P. J. — Enquête van een aantal beregeningsbedrijven in Oostbrabant. Nog niet gepubliceerd.

MAKKINK, G. F. — Toetsing van de berekening van de evapotranspiratie volgens PENMAN. *Landbouwk. Tijdschr. 67* (1955) 267–283.

MESU, F. P. — Nog niet gepubliceerd.

NES, B. A. VAN — De invloed van grondwateronttrekking ten behoeve van kunstmatige beregening van zandgronden op de stijghoogte van het grondwater. Zie dit verslag (*11e Techn. Bijeenk. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O.*), blz. 41.

PONS, L. J. — De bodemkaart van Nederland op schaal 1 : 200 000. *Landbouwk. Tijdschr. 67* (1955) 335–343.

ROSSUM, H. VAN — Kosten van wateraanvoer. Interne nota Cultuurtechnische Dienst. 26 januari 1955.

VISSER, W. C. — Een nomogram voor de kansverdeling van de regenval. Voordracht, gehouden voor de 7e technische bijeenkomst van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. op 23 november 1950. *Versl. en Meded. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O. 2* (1955) 50–67.

WIND, G. P. — A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil. *Netherlands J. of Agric. Sci. 3* (1955) 60–70.

WIJK, W. R. VAN, D. A. DE VRIES — Evapotranspiration. *Netherlands J. of Agric. Sci. 2* (1954) 105–120.

WIJK, W. R. VAN, D. A. DE VRIES en R. H. VAN DUIN — Potential evapotranspiration. *Netherlands J. of Agric. Sci. 1* (1953) 35–39.

DISCUSSIE

Ir. M. L. 'T HART:

Onze kennis betreffende de economie van bemesting en waterbeheersing is nog zeer onvoldoende, zoals nog kort geleden is gebleken bij een geval van bemesting van grasland. De keuze tussen beregening en peilbeheersing wordt mede beheerst door de veronderstelling van een toenemende arbeidsintensiteit bij de landbouw in Nederland. Deze veronderstelling is echter in hoge mate onzeker.
Naast voorbeelden van goede toepassing van peilbeheersing zijn er ook voorbeelden van slechte toepassing, evenals bij de beregening. Het is onjuist één gunstig geval te vergelijken met 40 praktijkgevallen.

ANTWOORD: Het is van belang, reeds thans en ongeacht een beperkte achtergrond van concrete gegevens ons af te vragen, in welke richting de waterbeheersing zich zal ontwikkelen. Wanneer hier getracht werd in de toekomst te zien, dan doet men een stap verder dan wetenschappelijk bewijsbaar behoeft te zijn. Op grond van alle ervaring, die ik op het gebied van de waterbeheersing heb opgedaan, heb ik het gevoel, dat de gedachten thans veel te eenzijdig op beregening gericht zijn en verwacht ik tegenvallers, vooral door sociale oorzaken. De voorbeelden dienden om dit toe te lichten, niet om dit te bewijzen.

Ir. F. SONNEVELD:

De door de inleider genoemde hoeveelheden beschikbaar vocht op de hoge zandgronden zijn bijzonder groot. In het algemeen zijn de hoeveelheden beschikbaar vocht op deze gronden echter beperkt. De groep zandgronden met minder dan 60 mm beschikbaar vocht is zeer groot. Zelfs in een gebied als de Gelderse Vallei met overwegend lage profielen is de groep met minder dan 60 mm nog vrij belangrijk.

ANTWOORD: De genoemde vochthoeveelheden zijn de totale hoeveelheden, die in de profielen werden aangetroffen, dus van ovendroog tot aan een vochtgehalte onder invloed van een eventuele grondwaterspiegel op geringe diepte. Tevens dient bedacht te worden, dat de Maas-terrassen veelal zavelige gronden zijn. Vermoedelijk kan dit het verschil met de door U genoemde getallen verklaren.

Prof. W. F. J. M. KRUL:

In de toekomst zullen in de accumulatorbekkens in de delta grote hoeveelheden water ten behoeve van de watervoorziening van de zandgronden ter beschikking zijn. Niettemin zal het dan waarschijnlijk toch ook nog de moeite lonen, meer plaatselijk de waterhuishouding te regelen ten behoeve van beregening of peilbeheersing, b.v. door kunstmatige infiltratie van afstromend oppervlaktewater in de natte periode en grondwateronttrekking door putten in het droge seizoen. Aldus worden kleine gebieden met een gesloten waterhuishouding verkregen. Op deze wijze zou wellicht een goedkopere oplossing worden verkregen dan wanneer men zich uitsluitend baseert op aanvoer van water over grote afstand uit de accumulatorbekkens.

ANTWOORD: Er schuilen zekere interessante mogelijkheden in deze richting. Tot een verbetering van de waterbalans van Nederland zullen dezel lokale projecten echter geen bijdrage van grote betekenis kunnen leveren.

V. SLOTBESCHOUWINGEN

C. VAN DEN BERG

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, in oprichting

Deze bijeenkomst zal niet voor alle deelnemers dezelfde mate van bevrediging hebben opgeleverd.

Enerzijds zullen velen tevreden gesteld zijn door de bevestiging van hun vermoedens, nl. dat de hydrologen zeer wel in staat zijn de problematiek van de grondwaterlevering op te lossen, indien ze over enkele basisgegevens beschikken. Anderzijds zullen anderen teleurgesteld zijn geweest, omdat de besproken problemen bij hen onmiddellijk reminiscenties wekken aan de concrete ontwikkeling van de watervoorziening in Nederland; de consequenties van het Deltaplan zijn op deze dag niet uit hun gedachten geweest.

Deze teleurstelling moet dan wel grotendeels worden toegeschreven aan de aarzeling die landbouwkundigen bevangt indien het gaat om de feitelijke oplossing van de problemen die met watervoorziening in de landbouw samenhangen. De zwaarste taak viel op deze dag dan ook toe aan ir. VISSER, omdat hij een oplossing voor een gecompliceerd probleem moest trachten te brengen en hij zich daarbij slechts kon baseren op weinig gegevens.

Want het ging vandaag om het samenbrengen van onderwerpen, die wetenschappelijk gesproken zeer ver uiteenliggen. Laat men het gebodene nog eens op zich inwerken, dan komt de gedachte op dat in de landbouw blijkbaar kan gelden: van hydrologie naar psychologie, il n'y a qu'un pas.

De behandeling van het onderwerp „watervoorziening" leidt tot de vraag: Hoe ver zijn we met de oplossing van de vandaag behandelde problemen gevorderd?

De technische oplossingen zijn vrij ver gevorderd. Uit de lezingen van ir. LATOUR, ir. VAN NES en drs. ERNST is wel gebleken dat de theoretische grondslagen van de grondwaterbeweging ons de apparatuur verschaffen om de meeste gevallen tot een bevredigende oplossing te brengen. Redelijk betrouwbaar zijn eveneens de gegevens over de waterbehoefte, als door ir. STOLP naar voren gebracht. Behoefte aan verdere verfijning bestaat zonder twijfel wel.

De tekorten aan de technische kant komen vooral uit in het ontbreken van voldoende kennis over de variatie en de regionale verbreiding van de benodigde constanten.

Nu is reeds door ir. VISSER opgemerkt, dat de keuze van de methodiek van watervoorziening zeker niet uitsluitend in het technische vlak zal liggen. Wenden we ons naar de economische aspecten, dan komen we op de vraag waar het water, indien niet ad libitum voorradig, het grootste nut zal hebben, op de rentabiliteit van de investeringen van de Staat en op de bedrijfseconomie. Voor het laatste zal in de komende decennia o.a. de factor arbeid een rol van betekenis spelen.

Als we aannemen, dat op grond van technische en economische overwegingen een combinatie van infiltratie, beregening en stuwing de meest logische oplossing zou zijn, dan moeten vragen van planologie, bedrijfsinrichting en, daarmede samenhangend,

ruilverkaveling beantwoord worden. Over deze economische en planologische problemen is onze kennis zeker onvoldoende.

Ten slotte kunnen de menselijke factoren, door ir. VISSER zelfs op de voorgrond gesteld, niet verwaarloosd worden, ook al zou men in dit opzicht niet pessimistisch zijn. De kennis waarmede de huidige boer in Nederland zijn bedrijf voert, neemt nog gestadig toe en er is een versnelling merkbaar bij de introductie van nieuwe technieken. Niettemin zal ook hier nog een grote taak liggen om vertrouwdheid met een inzicht in de watervoorziening te verbreiden.

Uit deze opsomming volgt, dat voor watervoorzieningsvraagstukken van een groot gebied (en wie denkt niet aan het Deltaplan?) nog zeer veel regionale kennis, verfijning van gegevens en economisch inzicht samengebracht moet worden, vóór een ideale oplossing is gevonden. En veel minder dan de ideale oplossing kunnen we moeilijk aanvaarden, gezien het niveau waarop de uitoefening van de Nederlandse landbouw zich beweegt.

De tijd is dan ook gekomen voor detailstudies en veel geduldig verzamelwerk, opdat de alternatieve oplossingen gevonden worden, waaruit in de beleidssfeer een keuze gemaakt kan worden. Dat betekent de afsluiting van het stadium van globale benaderingen.

Een dergelijk gedetailleerd onderzoek kan niet voor zeer grote gebieden in korte tijd volledig zijn, maar een regionaal beperkt gebied kan zich uitstekend lenen voor het onderzoek van zoveel mogelijk factoren die met de watervoorziening samenhangen.

Bij een goede keuze van een zodanig gebied kunnen resulaten verkregen worden die een brede toepassing mogelijk maken, vooral wanneer de theoretische uitwerking gevolgd zou worden door een praktische toepassing.

Voor een dergelijke ontwikkeling vormt de Hydrologische Commissie een gelukkig gesprekcentrum tussen waterbouwkundigen en landbouwkundigen, want zonder twijfel zullen reeds geleverde en nog te leveren bijdragen voor gedetailleerde studies van beide zijden welkom en onontbeerlijk zijn.

Ten slotte: Het was niet mijn bedoeling een sombere sfeer op te roepen, als zou de landbouw met geen mogelijkheid op korte termijn oplossingen kunnen bieden die voor de waterbouwkundigen een richtlijn kunnen zijn. Die oplossingen kunnen binnen niet al te lange tijd tot stand komen, maar ze zullen noodgedwongen gebaseerd zijn op globale gegevens.

Wij moeten thans trachten zo snel mogelijk de watervoorziening in te passen in de bestaande verhoudingen in de landbouw en daartoe kan de concentratie van vele krachten op een gebied van beperkte afmetingen een uitstekende aanloop zijn.

Hopelijk zal de Hydrologische Commissie hiervoor mede zijn stimulerende invloed laten gelden.

Twaalfde Technische Bijeenkomst

op 30 mei 1956

II. KWALITEITSEISEN VOOR OPPERVLAKTEWATER

I. INLEIDING

C. BIEMOND

Directeur Gemeentewaterleidingen Amsterdam

Wij geven in Nederland vaak een te beperkte omschrijving van de wetenschap der hydrologie.

Amerikanen omschreven haar als volgt:

Hydrologie is die tak van de natuurkundige aardrijkskunde, welke zich bezighoudt met de wateren der aarde, en wel wat betreft de eigenschappen, het gedrag en de verdeling; zij behandelt in het bijzonder het voorkomen van water op de aarde, de beschrijving van de aarde in verband met het water, het natuurkundig effect van water op de aarde en het verband tussen water en het leven op aarde.

Wanneer wij ons aansluiten bij deze wijde omschrijving en in het bijzonder bij het laatste gedeelte daarvan, dan is het duidelijk dat de discussies van vandaag kunnen blijven binnen het terrein der hydrologie, dat onze commissie als haar arbeidsterrein beschouwt. Het verband tussen water en het leven op aarde is immers niet alleen een vraagstuk van kwantiteit en verdeling, maar eveneens een van kwaliteit. Water is vanouds van de bergen naar de oceanen gevloeid, beladen met natuurlijke verontreinigingen: zand, slib, minerale zouten, gassen, radioactiviteit..... Naarmate het leven op aarde zich uitbreidde kwamen daarbij: organische stof, flora, fauna..... Maar de mens heeft hieraan geleidelijk toegevoegd een aantal verontreinigingen die wij de onnatuurlijke zouden kunnen noemen. In enkele gebieden hebben de geconcentreerde bewoning en de industrialisatie zulk een intensiteit bereikt, dat de onnatuurlijke de natuurlijke verontreinigingen overtreffen. Daartoe behoort het stroomgebied van midden-Rijn en beneden-Rijn en een groot deel van het overige Nederland.

De hydrologie – in haar ruime omschrijving – kan, wanneer zij het water beschouwt in zijn verband met het leven op aarde, zich in ons land niet meer losmaken van de kwaliteitsbegrippen en de commissie heeft het daarom – beide – opportuun en urgent geacht om de „kwaliteitseisen voor oppervlaktewater" voor dit forum aan de orde te stellen.

Het is nochtans niet de eerste keer, dat wij ons hier op dit gebied bewegen; op onze 6e bijeenkomst, gehouden op 18 januari 1950, eveneens te Utrecht, was het onderwerp: „Het vraagstuk van de verzouting van grond- en oppervlaktewater in Nederland".

Vandaag bestrijkt het onderwerp een wat groter veld, omdat zes verschillende facetten van de actuele verontreiniging behandeld worden. Anderzijds is er een beperking, omdat slechts het oppervlaktewater en dus niet het grondwater, in de beschouwing wordt betrokken. Men kan echter zeggen dat de grenzen tussen oppervlakte- en grondwater door uitwisseling geleidelijk verflauwen en dat overigens voor de toekomstige additionele behoeften nog slechts het oppervlaktewater van belang is, zodat in genoemde beperking van het onderwerp geen wezenlijke deling van het vraagstuk ligt. Het onderwerp van vandaag is bovendien verbreed in dit opzicht, dat aan alle inleiders is verzocht de specifieke verontreiniging te bezien in haar betekenis ten op-

zichte van respectievelijk: de openbare watervoorziening, de industrie, de visserij, de landbouw en de recreatie. De opzet daarvan was om niet slechts voor ons te zien enkele doorsneden van het aanhangige vraagstuk, maar zoveel mogelijk een samenhangend beeld van de voornaamste factoren in hun onderling verband.

Er is bij al deze facetten natuurlijk nog een extra dimensie in het spel en dat is de tijdfactor.

Hoe heeft een bepaalde verontreiniging zich in de loop der tijden ontwikkeld en hoe zal de waarschijnlijke ontwikkeling in de toekomst zijn?

Deze factor mag echter niet slechts in het beschouwde vlak blijven. Het gaat namelijk niet om de academische vraag: Hoe zal de ontwikkeling waarschijnlijk verlopen? Maar veeleer om de beleidsvraag: Hoe zal de verdere ontwikkeling moeten worden geleid? Vandaar dat het onderwerp is geformuleerd als kwaliteitseisen.

De commissie en Uw discussieleider zijn zeer verheugd de aangekondigde sprekers bereid te hebben gevonden de zes facetten voor U in te leiden en ik wil nu reeds onze hartelijke dank uitspreken voor de moeite, welke zij zich hiervoor getroosten.

De discussies zijn verdeeld gedacht in 2 groepen:

na de 4e voordracht over: organische stof, plankton en bacteriële verontreiniging;

na de 5e voordracht over: zoutgehalte

Ik zou willen aanbevelen om bij de discussies vooral het doel van onze T.N.O.-commissie in gedachten te houden en dus mede te werken aan het bereiken van conclusies, waaruit kan blijken:

a. het belang van bepaald onderzoek

b. welk onderzoek reeds aan de gang is

c. welk verder onderzoek wenselijk zou zijn.

Ik wens U dan gaarne een vruchtbare discussiedag.

II. VERONTREINIGING DOOR ORGANISCHE STOFFEN

J. J. HOPMANS

Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater

Bij het houden van een voordracht over de verontreiniging van oppervlaktewater door organische stoffen ziet men zich al direct voor de moeilijkheid geplaatst om het auditorium duidelijk te maken waarover men het eigenlijk heeft, althans wanneer het gaat om te komen tot normen, die ten aanzien van deze bestanddelen bij de beoordeling van oppervlaktewater in acht genomen moeten worden. Het is niet moeilijk het begrip „organische stof" te definiëren. Dit begrip is, naar ik aanneem, voor U zo duidelijk dat ik mij ontslagen acht van de plicht hiervan een definitie te geven. Het is echter wel zeer moeilijk de hoeveelheid organische stof van oppervlaktewater te bepalen en een nog moeilijker of eigenlijk een onoplosbaar vraagstuk is het dit bestanddeel in zijn componenten te ontleden, behoudens een nader te noemen uitzondering. Toch zou het van eminent belang zijn, indien men er in slaagde voor dit laatste probleem een behoorlijke oplossing te vinden, aangezien normaliter in onze oppervlaktewateren, die aan alle kanten worden belaagd door lozingen van verontreinigende vloeistoffen van de meest uiteenlopende samenstelling, de organische stoffen een ingewikkeld mengsel vormen, waarvan vrijwel alle componenten door hun verschillen in assimileerbaarheid, in reactieconstante van de biochemische omzettingen en in de invloed op de snelheid van het zelfreinigingsproces factoren vormen die bij de beoordeling van het organische stofgehalte een belangrijke rol zouden kunnen spelen.

In dit verband zou ik in de eerste plaats willen wijzen op de aanwezigheid van plankton in het oppervlaktewater, ook organische stof, waarvan de aanwezigheid in het rivierwater, in combinatie met de activiteit van de bacteriën een conditio sine qua non vormt om onder de huidige omstandigheden te voorkomen, dat onze belangrijkste waterwegen gedegradeerd worden tot open riolen. Dr. ir. SCHAAFSMA en dr. VAN HEUSDEN zullen U vandaag nader inlichten over deze kwestie en daarbij ook bespreken het verband tussen bacteriën en plankton enerzijds en het voorkomen van organische stoffen anderzijds.

Over de assimileerbaarheid van de verschillende soorten organische stof nog een enkel woord en wel een herinnering aan de gedachte, welke dr. ir. HEYMANN, destijds Scheikundige Bacterioloog der Gemeente Waterleidingen van Amsterdam, heeft geuit in zijn verslag over het onderzoek van het Rijnwater, verricht in zijn tijdelijk laboratorium te Rhenen in de jaren 1927/1930. HEYMANN heeft nl. een onderscheid gemaakt tussen assimileerbare en niet-assimileerbare organische stof en daarbij een methode aangegeven om deze componenten afzonderlijk te bepalen. Als maat voor de organische stof werd gekozen het permanganaat-getal, hetwelk bepaald werd in het ruwe water en in, herhaald door een biologisch zandfiltertje, gefiltreerd water. Door laatstgenoemde bewerking werd de assimileerbare organische stof geëlimineerd, zodat uit de uitkomsten van beide bepalingen een conclusie getrokken kon worden omtrent de verhouding tussen wel en niet assimileerbaar materiaal van het rivierwater. Zoals

HEYMANN zelf heeft opgemerkt, is de methode echter zo tijdrovend (elke bepaling duurde ca. 4 weken), dat toepassing op grote schaal niet in aanmerking kwam. Van de resultaten zij vermeld dat gevonden werd, dat gemiddeld rond 60% van de organische stof, gemeten aan het permangaat-getal, assimileerbaar was. Het is jammer, dat aan deze methode grote praktische bezwaren kleefden, waardoor deze voor zover mij bekend, bij het onderzoek van oppervlaktewater in het algemeen geen toepassing heeft gevonden. Nog meer te betreuren is het, dat men op het door HEYMANN naar voren gebrachte principe niet heeft voortgebouwd en geen pogingen heeft gedaan om tot een praktisch beter bruikbare techniek te geraken.

Wel is later een methode naar voren gekomen, welke in beginsel een bepaling van assimileerbare organische stof beoogt, doch geen uitkomst geeft t.a.v. het niet assimileerbare deel. Ik heb hier op het oog de bepaling van het biochemisch O_2-verbruik, meestal aangeduid als B(iochemical) O(xygen) D(emand) waarover ik straks nadere mededelingen zal doen.

Een differentiatie, die wel uitvoerbaar is en dan ook dikwijls wordt uitgevoerd, is die tussen de opgeloste en onopgeloste organische stof, de laatste dan voor zover zij als vaste fase aanwezig is. De aanwezigheid van deze zwevende stof kan zijn oorzaak vinden in de slijkstoffen, welke met de afvalvloeistoffen in de rivier zijn gebracht en die door het zelfreinigingsproces niet zijn gedeformeerd en gemineraliseerd, dan wel aanwezig zijn in de vorm van biologische as, dat wil zeggen als vast eindprodukt van de biochemische omzettingen, welke in een goed geaëreerde rivier plaats vinden. Veelal worden deze bestanddelen samengevat onder de naam humusachtige stoffen. Uiteraard is de aanwezigheid van de eerstgenoemde het gevaarlijkst te noemen, want deze aanwezigheid betekent, dat het zelfreinigingsproces nog ver van zijn eindstadium is verwijderd.

Voorts bieden deze slijkdeeltjes huisvesting aan bacteriën, waarvan hier vooral de pathogene micro-organismen moeten worden genoemd. Het omhullende slijkdeeltje vormt een bescherming van de ziekteverwekkende kiem tegen het hem vijandige zuurstofhoudende milieu. Slijkstoffen geven aanleiding tot ontijdige verstopping van filters van drinkwaterwerken en tot incrustatie van pijpleidingen. Hierbij moet niet worden vergeten, dat dergelijke ophoping van organische stoffen aanleiding kan geven tot lokale anaërobiose met alle nadelige gevolgen van dien. Het is daarom duidelijk, dat er zoveel mogelijk naar gestreefd moet worden om afvoer van onopgeloste stoffen op de waterwegen te voorkomen. Het bouwen van bezinkinstallaties is dan ook het begin van alle wijsheid en zoals de situatie zich in ons land thans voordoet is het zaak om bij afvoer van afvalwater van enige betekenis op openbaar water er voor te zorgen, dat de onopgeloste stoffen worden teruggehouden.

Wij keren thans terug tot de bepaling van de organische stoffen in het afvalwater. Oorspronkelijk geschiedde dit door de droogrest na weging te gloeien en de as te wegen. De uitkomst is evenwel sterk afhankelijk van de temperatuur en de tijdsduur van het gloeien, aangezien deze factoren van invloed zijn op de verdamping van de meer vluchtige zouten (NaCl) en de ontleding van carbonaten. De bepaling van de zg. sulfaatas heeft hierin geen bevredigende verbetering gebracht. Een volgende stap was

de invoering van het permanganaatgetal, waardoor eigenlijk een maat voor de oxydeerbaarheid van de organische stof werd verkregen. Als conventioneel cijfer heeft het permanganaatgetal ongetwijfeld waarde, waarbij evenwel bedacht moet worden, dat de verkregen cijfers sterk afhankelijk zijn van de gevolgde methode. Nu is het zeer moeilijk om verschillende laboratoria er toe te bewegen om nauwlettend tot in details eenzelfde bepalingsvoorschrift te volgen en dit is de oorzaak, dat men noch nationaal noch internationaal over vergelijkbare permanganaatgetallen kan beschikken.

Men heeft voorgesteld de oxydatie uit te voeren met het element chloor (Froboesegetal) en in de laatste jaren probeert men het met een oxydatie met bichromaat. Ook de bepaling van organische koolstof is een tijdlang in de mode geweest om tot een cijfer voor organische stof te komen. Afgezien van andere bezwaren hebben al deze bepalingen het nadeel, dat zij geen differentiatie tussen al dan niet assimileerbare materie toelaten.

Een geheel nieuw principe als basis voor de bepaling van de in water aanwezige organische stof werd ingevoerd omstreeks 1900 door SPITTA en wel de reeds eerder genoemde B.O.D.-bepaling, welke destijds betiteld werd als de bepaling van de „Sauerstoff-zehrung". Daarbij wordt nagegaan hoeveel zuurstof in een bepaalde tijd aan het te onderzoeken water wordt onttrokken bij 20°C in het donker in een geheel gevuld en gesloten flesje. De methode kreeg in 1912 als het ware een internationale sanctie toen de Eng. Royal Comm. on Sewage Disposal deze in zijn 8th Report als „test" voor de beoordeling van het effluent van zuiveringsinstallaties aanbeval. Enige jaren later kreeg de bepaling door het werk van de Amerikanen PHELPS, STREETER, THERIAULT e.a. meer betekenis. Deze onderzoekers, verbonden aan de United States Public Health Service te Cincinnati, hebben baanbrekend werk verricht. Het zelfreinigingsproces van verschillende grote rivieren als de Potomac, de Ohio, de Illinois en de boven-Missisippi alsmede van het benedengedeelte van het Michiganmeer werd uitgebreid en nauwkeurig nagegaan. Mede naar aanleiding van deze resultaten kwam PHELPS voor de dag met de door hem gevonden wet, luidende „De snelheid van biochemische oxydatie van organische stof is recht evenredig met de overblijvende concentratie van de ongeoxydeerde organische stof, uitgedrukt als biochemisch zuurstofverbruik (B.O.D.), doch onafhankelijk van het O-gehalte van de vloeistof". Met andere woorden, wij hebben hier te doen met een monomoleculaire reactie, waarvan ten aanzien van de reactiesnelheid geldt $\frac{dc}{dt} = -kc$, hetgeen na integratie geeft $\text{Log}\frac{Lt}{La} = -kt$.

Hierin is:

La = oorspronkelijk B.O.D. van het water
lt = B.O.D. na t dagen
k = reactieconstante.

Deze reactieconstante varieert met de temperatuur volgens de vergelijking

$$k_{T_1} = k_T\,(1.047)^{(T_1-T)}.$$

Hiermede was de zaak op wetenschappelijke basis gezet, zodat er geen speld meer was tussen te krijgen. Figuur 1, ontleend aan het bekende „Taschenbuch" van IMHOFF

FIG. 1. Verloop B.O.D.-afbraak bij verschillende temperaturen.

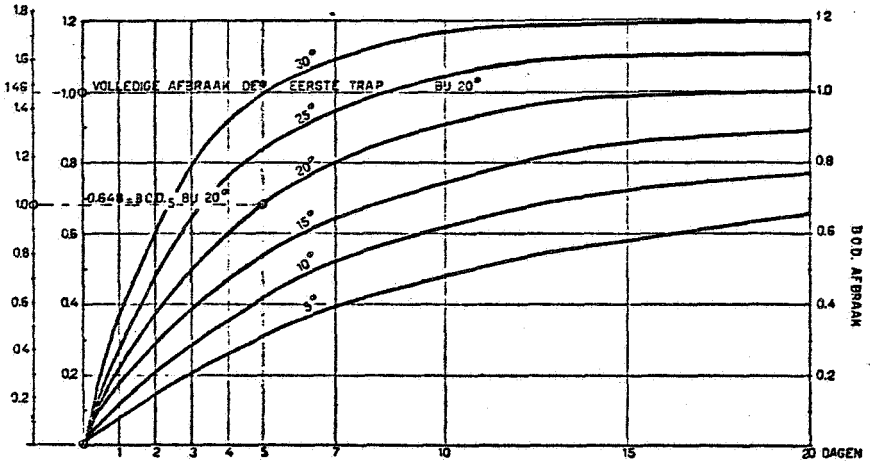


FIG. 1. *Progress of a B.O.D. demolition at varying temperatures.*
Le progrès de démolition de la D.B.O. en cas de températures différentes.

geeft een overzicht van de mogelijkheden, welke de mathematische behandeling van dit vraagstuk ons biedt.

Wanneer men slechts beschikt over een goede apparatuur, in het bijzonder over een thermostaat, die de zuurstofflesjes op constante temperatuur houdt, dan is een B.O.D.-bepaling het summum van eenvoud. Een kind kan nu de was doen. Men behoeft zelfs noch een incubatietijd van 5 dagen noch een temperatuur van 20°C in acht te nemen. De grafiek of een daarmee in overeenstemming zijnde tabel is een onfeilbaar middel om de onder andere omstandigheden verkregen cijfers op B.O.D. 5 dagen bij 20°C te transformeren. Men voelde zich dan ook met deze bepaling volmaakt gelukkig, doch op aarde is een dergelijk geluk ons niet zo heel lang beschoren. Zowel op grond van de ervaring, welke met deze methode werd opgedaan als ten gevolge van theoretische overwegingen rees twijfel aan de universele geldigheid van de aldus verkregen resultaten. Het lijdt geen twijfel dat, indien men met een zuiver chemische reactie te maken zou hebben, de bovengenoemde formules en grafieken een onaantastbare geldigheid zouden hebben. Het gaat hier evenwel om een biologisch verschijnsel en de reactieconstante wordt hier ongetwijfeld beïnvloed door wijziging van het milieu zowel in chemische als in biologische zin. Wat het eerste betreft zij er op gewezen, dat in de loop van de biochemische oxydatie het gehalte aan koolstof-waterstof-verbinding afneemt, terwijl het stikstofgehalte constant blijft, d.w.z. het voor biochemische omzettingen zo belangrijke produkt C/S verandert. Ook de micro-flora en -fauna in het zuurstofflesje ondergaan wijzigingen met de tijd.

Op grond van deze veranderingen moet men concluderen, dat ook de reactieconstante zich wijzigt, d.w.z. dat er niet meer van reactieconstante gesproken mag

worden en dus ook de absolute geldigheid van de wet van PHELPS, althans voor deze omstandigheden, in twijfel getrokken moet worden.

Er is echter meer. Het was aan bacteriologen reeds zeer lang bekend, dat in een medium, dat zowel koolstof-waterstof- als N-verbindingen bevat, de oxydatie begint bij eerstgenoemde stoffen en dat, naarmate het mineralisatieproces voortschrijdt, ook de stikstof in de corresponderende zuurstofverbindingen, te weten nitrieten en nitraten, wordt overgevoerd. Men heeft het wel voorgesteld alsof er een scherpe grens zou bestaan tussen de bioch.koolstof- en N-verbinding, maar men is het er thans wel over eens, dat er een vrij groot coëxisterend gebied is, waarin dus beide processen naast elkaar verlopen. Dit blijkt voorts uit de ervaringen, welke men bij de biologische zuivering van afvalwater zowel met continufilters als met de actief-slib-methode heeft opgedaan en waarbij in principe dezelfde factoren een rol spelen. Hetzelfde verschijnsel speelt zich ook af in ons B.O.D.-flesje en figuur 2, ontleend aan THERIAULT, geeft dit duidelijk aan. De B.O.D.-afbraaklijn vertoont een duidelijke sprong, terwijl voorts de N-oxydatie geen logaritmisch doch een rechtlijnig verloop heeft. Nu gelden deze lijnen voor een B.O.D.-verloop bij onderzoek van vers afvalwater en dit is een essentieel verschil met een bepaling in rivierwater. Van dit laatste weten wij niet zonder meer in welk oxydatiestadium de organische stoffen zich bevinden, maar het is veelal niet uitgesloten, dat dit al het gebied van de C-N sprong genaderd is. Is dit inderdaad het geval, dan zijn de uitkomsten al zeer moeilijk vergelijkbaar met B.O.D.-bepalingen, die geheel in de koolstofzone zijn geschied.

Een nadeel van de methode is voorts, dat aanwezigheid van zwevende stoffen stoort, terwijl ook algen, die een gewaardeerde rol in het zelfreinigingsproces kunnen spelen, de uitkomsten kunnen vertroebelen. Ten slotte zij nog opgemerkt, dat men ook dikwijls mijns inziens gerechtvaardigde twijfel heeft uitgesproken ten aan-

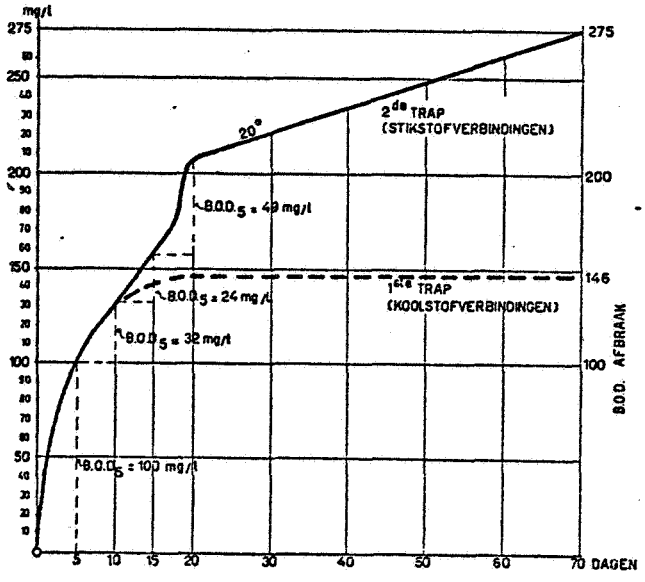


FIG. 2.
B.O.D.-afbraak van vers afvalwater volgens THERIAULT ($B.O.D._5$ = 100 mg/l).

FIG. 2.
B.O.D. demolition of freshly polluted water according to THERIAULT.
La D.B.O. démolition dans l'eau pollué récemment selon THERIAULT.

zien van de vraag of men hetgeen in een zuurstofflesje gebeurt, zonder meer mag vergelijken met de processen, welke zich in een stromende rivier afspelen. Ofschoon het aureool, dat in den beginne de B.O.D.-bepaling omgaf, in de loop der jaren wel verbleekt is, geeft deze bepaling mijns inziens toch nog een beter inzicht over de aanwezigheid van de organische stoffen in oppervlaktewater dan de andere methoden. Hier geldt dus „Quand on n'a pas ce qu' on aime, il faut aimer ce qu'on a". Men zal ervoor moeten waken de betekenis ervan te overschatten en zich er vooral van bewust moeten zijn, dat de bepaling ons omtrent de secundaire verontreiniging door plankton of afvalwaterschimmels in het onzekere laat.

Indien wij ons thans afvragen welke normen hier gesteld moeten worden in verband met het gebruik van oppervlaktewater voor verschillende doeleinden, dan moet het antwoord voor hen, die ernaar streven de richtlijnen, welke gevolgd moeten worden om de huidige maatschappij als een goed geolied mechanisme te doen functioneren, in een streng mathematische vorm, dus in vergelijkingen en cijfers, te definiëren, teleurstellend luiden. Nadrukkelijk stel ik vast, dat al deze beschouwingen betrekking hebben op matig vervuilde oppervlaktewateren en dat de sterk vervuilde waterlopen, als de Groninger kanalen, de grachten van verschillende grotere steden, de meeste beken in het Regge-gebied en de Brabantse industriegebieden, om slechts enkele voorbeelden te noemen, hier buiten het gezichtsveld gehouden worden. Wij spreken thans over oppervlaktewateren en niet over open riolen, waarvan het bestaan als deel van ons levensmilieu betreurd moet worden. Elk gebruik van dergelijk water moet zowel op hygiënische als op economische gronden ontoelaatbaar worden geacht. Het heeft geen zin het B.O.D. van dergelijk water aan enige norm te toetsen. Dit cijfer heeft dan alleen nut als maatstaf voor de vervuilingsgraad. Noch voor enig agrarisch gebruik, noch voor de visserij heeft bij de matig vervuilde wateren het B.O.D.-cijfer als zodanig enige betekenis.

Enigszins anders ligt dit voor de benutting van rivierwater als grondstof voor de drinkwatervoorziening en voor industrieel gebruik. Veel organische stof kan aanleidng geven tot groei en incrustatie van transportleidingen, terwijl de waterleidingsbedrijven zich gesteld zien voor de taak om door passende behandeling deze bestanddelen te verwijderen. Deze verwijdering vormt op zichzelf geen technisch probleem, doch het is duidelijk, dat hier wel een belangrijke economische kant aan zit. Een hoger B.O.D.-cijfer van het rivierwater vraagt omvangrijkere en gecompliceerdere en dus kostbaardere reinigingsmaatregelen. Naar mijn mening heeft hier het stellen van een norm weinig zin; het geldelijke belang van de drinkwatervoorziening brengt mee, dat het B.O.D.-cijfer van het rivierwater naar een zo laag mogelijk niveau gedrukt moet worden. Toch zweeft min of meer vagelijk door de literatuur een bepaald B.O.D.-getal en volledigheidshalve voel ik mij verplicht, zij het dan ook met enige schroom, dit getal te noemen. Het hoge woord moet er dan maar uit: dit getal is 4 mg zuurstof per liter, bepaald na 5 dagen bij 65°F (=18,3°C). Hoe is dit cijfer ter wereld gekomen? De geestelijke vaders ervan waren bepaald niet de eersten de besten, want zij vormden de reeds eerder genoemde Royal Commission on Sewage Disposal, een gezelschap bestaande uit mensen met grote deskundigheid en alom erkende reputatie op dit gebied.

Ten einde te komen tot de formulering van een algemene norm voor effluenten van zuiveringsinstallaties stelde men een overzicht op van B.O.D.-cijfers van een groot aantal monsters rivierwater, welke waren genomen op punten „where signs of sewage pollution were observed" en „where there were no signs of pollution". Uit dit overzicht trok men de conclusie, dat bij een B.O.D. van 4 mg/l of lager een rivier gewoonlijk geen verontreinigingsverschijnselen vertoonde. Met alle respect voor de vakkundigheid van de Commissie mag toch wel worden opgemerkt, dat deze norm berustte op visuele waarnemingen en dat dus daaraan een subjectief element niet kan worden ontzegd. Bedenkt men voorts, dat destijds (in 1912) de ervaring met de B.O.D.-cijfers nog lang niet rijp was en dat sindsdien gebleken is, dat de interpretatie van deze getallen een zaak is ,die niet iedereen in handen gegeven kan worden, dan meen ik, dat het door de Royal Commission gegeven B.O.D. van oppervlaktewater bezwaarlijk tot norm kan worden verheven. Als orde van grootte van een streefcijfer kan het wellicht van waarde blijken te zijn, doch bepaalde situaties zouden een wijziging hiervan kunnen rechtvaardigen.

Indien men uit het bovenstaande de conclusie zou trekken, dat de bepaling van de organische stoffen in rivierwater, uitgedrukt in het B.O.D., slechts van geringe waarde zou zijn, dan moet ik deze opvatting beslist bestrijden. Het B.O.D.-cijfer houdt nauw verband met de gehele zuurstof-huishouding van de rivier, doch is daarvoor niet met uitsluiting van andere factoren bepalend.

Van doorslaggevend belang, ook voor het gebruik van rivierwater voor welk doel dan ook, is het zuurstofgehalte daarvan. Indien zuurstof in voldoende mate aanwezig is, hebben wij te doen met gezond water, d.w.z. water, dat in staat is zijn taak, zoals deze door de samenleving wordt gesteld, naar behoren te vervullen en dat voorts, mede dank zij de daarin aanwezige biologische krachten, het vermogen bezit het vuil, dat in vloeibare toestand daarin wordt gedeponeerd, zonder hinderlijke bijverschijnselen te mineraliseren en onschadelijk te maken. Men vergete daarbij niet, dat het hierbij gaat om het sluiten van de natuurlijke kringloop van de stof. Het verbreken van de keten van de processen, waaruit deze kringloop bestaat, zou binnen korte tijd het leven op aarde onmogelijk maken. Aldus beschouwd is de aanwezigheid van organische stoffen in het oppervlaktewater van primaire betekenis, aangezien zij in sterke mate medebepalend is voor het zuurstofniveau.

Het is de moeite waard deze kwestie aan een nadere beschouwing te onderwerpen. Beschouwen wij daartoe een stromende rivier, waarvan het B.O.D.-gehalte door toevloeiing van organische stoffen bevattend afvalwater in duidelijk meetbare waarde is verhoogd. Het zelfreinigingsproces tracht deze stoffen te verbranden ten koste van de in het water opgeloste zuurstof. Een daling van het zuurstofgehalte is daarvan het gevolg; er ontstaat dus een toestand van onderverzadiging, welke op zijn beurt oorzaak is, dat zuurstof uit de atmosfeer in het water oplost. De daling van het O-gehalte vond, zoals wij gezien hebben, althans in zekere mate, plaats volgens de wet van PHELPS; voor de oplossing van zuurstof uit de lucht, de zg. reaëratie, is door ADENEY een formule voorgesteld. Volledigheidshalve zij vermeld, dat uit theoretische beschouwingen en onderzoekingen van dr. ir. PASVEER gebeleken is, dat ADENEY bij de afleiding van zijn formule van een onjuiste premisse is uitgegaan. Door dr. PASVEER is hiervoor

een gecorrigeerde formule afgeleid. Op details hiervan kan thans niet worden ingegaan; van belang is wel op te merken, dat in de door beide onderzoekers opgestelde vergelijkingen betreffende oplossingssnelheid van zuurstof in water, de term (Cv — Ct) in de teller voorkomt, waarbij Cv is de verzadigingswaarde van zuurstof bij de heersende temperatuur en Ct het werkelijke zuurstofgehalte voorstelt. De oplossingssnelheid is dus recht evenredig met het zuurstofdeficit.

Men kan nu door combinatie van de wetten van PHELPS en van ADENEY-PASVEER een vergelijking opstellen voor het verloop van de zuurstofkromme in een rivier na toevoeging van afvalwater. Dit is het eerst gedaan door FAIR, die deze kromme de „oxygen-sag" heeft genoemd.

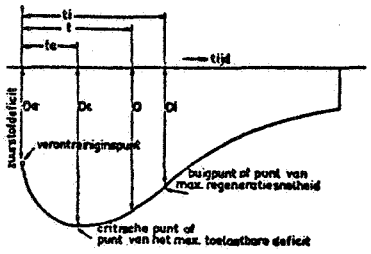


FIG. 3. „Oxygen-sag".

FIG. 3. *La courbe en sac d'oxygène dissous.*

Figuur 3 geeft hiervan een voorstelling, waarbij men wel moet bedenken, dat wij hier voor ons hebben het ideale geval, waarvoor de wet van PHELPS volkomen opgaat en de constanten, ook die van de reaëratievergelijking, inderdaad gedurende het stromen van de rivier geen enkele wijziging ondergaan. Wij kunnen dit wel als een hypothetisch geval beschouwen, hetgeen toch een goede indruk geeft van hetgeen met het zuurstofgehalte van het rivierwater kan gebeuren. Ik hoop, dat het U thans duidelijk geworden zal zijn dat, naarmate meer assimileerbare organische stof aanwezig is, gemeten als B.O.D., de zuurstoflijn mutatis mutandis scherper daalt en een lager minimum bereikt.

De vraag dringt zich als het ware naar voren, welk minimum toelaatbaar kan worden geacht. Ook hier wil ik er op wijzen, dat men de grootste voorzichtigheid moet betrachten om in deze richting algemeen geldende uitspraken te doen; het opstellen van een onwrikbare norm is geheel uit den boze. Wel kan ik vermelden, dat volgens Amerikaanse opvattingen een zuurstofgehalte van 5 mg/l niet mag worden onderschreden „in order to provide favorable conditions for the development of a normal variety of native fish live", waarbij er op gewezen wordt, dat alsdan ook „the normal chain of natural purification in polluted bodies of water" in stand gehouden kan worden. Als absoluut minimum wordt aldaar ook genoemd 3 mg/l, doch van „favorable conditions" kan dan niet meer worden gesproken.

Straks zullen wij zien, dat er opvattingen zijn, die deze cijfers te laag achten.

Onder de organische stoffen is er een groep, die een andere vermelding nodig maakt en wel die van de fenolen. Deze bezitten nl. een beruchte reputatie. In de eerste plaats beïnvloeden deze de smaak van de vis dermate, dat deze volkomen onverkoopbaar

kan worden. De lozing van de fenolhoudende afvalvloeistoffen van de cokesfabrieken in het Emschergebied op de Rijn via de Emscher heeft de zalmvisserij benedenstrooms van de Emschermonding om deze reden volkomen te gronde gericht. Ook de drinkwatervoorzieningen hebben een geduchte vrees voor deze stoffen en niet ten onrechte; in het bijzonder wanneer door al dan niet opzettelijke chlorering de zg. chloorfenolen ontstaan, welke in uiterst minieme hoeveelheden smaakbezwaren kunnen veroorzaken.

In hoeverre deze stoffen geheel en al voor dergelijke bezwaren verantwoordelijk gesteld moeten worden is een kwestie, waarover geen eenstemmigheid bestaat. Deze bezwaren worden nl. ook wel toegeschreven aan uit de bodem afkomstige organische verbindingen.

Hoe dat ook zij, de aanwezigheid van fenolen ook in zwakke concentraties (enkele tientallen microgrammen per liter) kan zeer onaangename gevolgen hebben.

Tot besluit en toelichting van de situatie in Nederland wil ik U enkele mededelingen doen over de toestand van het water van de Rijn. Het is ondoenlijk om al het oppervlaktewater in ons land de revue te laten passeren. De Rijn levert wel de hoofdmassa van het oppervlaktewater, dat voor de drinkwatervoorziening en voor agrarische doeleinden wordt gebruikt en in de toekomst in nog sterkere mate zal worden benut. Bovendien beschikken wij thans over de resultaten van het onderzoek van de Internationale Rijncommissie over de periode 1 juni 1953 tot 1 juni 1954.

Ter inleiding geef ik U een overzicht van de bemonsteringsplaatsen (fig. 4), die door de zg. Expertencommissie zijn vastgesteld, alsmede een tweetal grafieken (fig. 5 en 6), waarop zijn aangegeven resp. het verloop van het zuurstofgehalte, uitgedrukt in

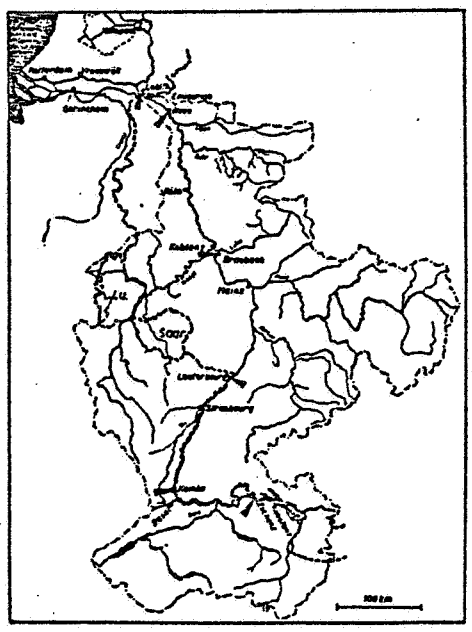


FIG. 4.
Overzicht van de bemonsteringsplaatsen.

FIG. 4.
Survey of the sampling stations.
Aperçu des endroits de prélèvement des échantillons.

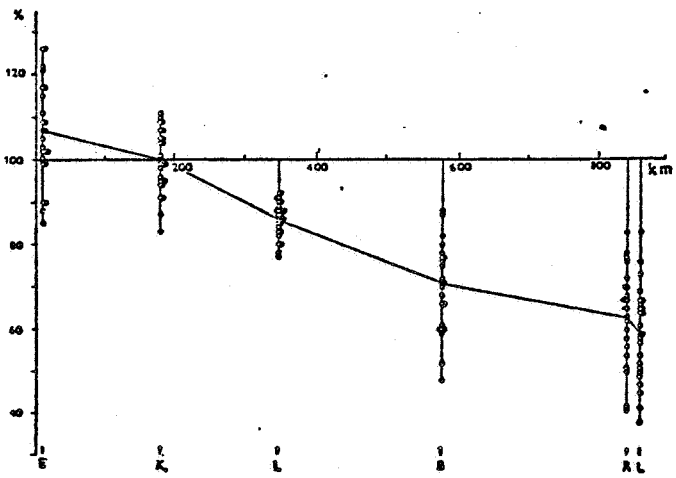


FIG. 5.
Verloop van het zuurstofgehalte (Eschenz-Lobith).

FIG. 5.
Course of the oxygen content (Eschenz-Lobith).
Cours de la teneur en oxygène (Eschenz-Lobith).

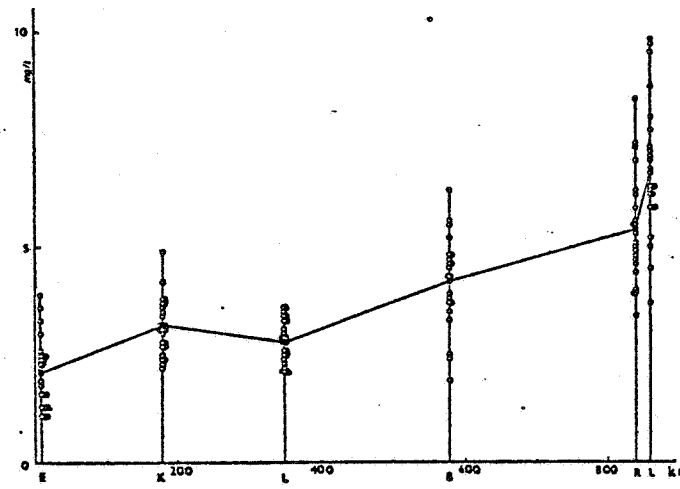


FIG. 6.
B.O.D.$_5$ in mg/l.

FIG. 6.
B.O.D.$_5$ in p.p.m.
D.B.O.$_5$ en mg/l.

	LOBITH	GORINCHEM	VREESWIJK	KAMPEN
O_2 GEHALTE IN mg/l				
GEMIDDELD	6.60	6.60	7.15	7.15
MINIMUM	4.05	4.10	4.75	4.40
MAXIMUM	12.15	10.15	12.55	12.40
B O D$_5$ IN mg/l				
GEMIDDELD	6.75	5.00	5.00	4.10
MINIMUM	3.75	2.65	2.55	2.60
MAXIMUM	9.75	6.95	7.45	8.15

FIG. 7.
Tabel van gem. max. en min. waarden van het zuurstofgehalte.

FIG. 7.
Table of the average max. and min. values of the oxygen content.
Tableau synoptique des valeurs moyennes max. et min. de la teneur en oxygène.

procenten van de verzadigingswaarde en van het B.O.D.5 uitgedrukt in mg/l vanaf Eschenz t/m Lobith. De grafieken geven het gemiddelde van de gevonden waarden, alsmede de spreiding van de verschillende waarnemingen.

Duidelijk blijkt hoe het zuurstofgehalte afneemt en het B.O.D. toeneemt tijdens de stroming van de rivier van Zwitserland tot ons land.

In de tabel van fig. 7 zijn vermeld waarden, welke te Lobith, Gorinchem, Vreeswijk en Kampen zijn gevonden voor het zuurstofgehalte en het B.O.D. en als gemiddelden benevens de minimum- en maximum-waarden. Hieruit blijkt, dat de zuurstofhuishouding te Lobith weinig fraai genoemd moet worden; het gemiddelde B.O.D. ligt vrij hoog, terwijl een zuurstofgehalte van bijna 4 mg/l als minimum werd gevonden. De Internationale Rijncommissie was dan ook van mening, dat van een overbelasting van de Rijn gesproken moest worden en dat de situatie in de benedenloop verontrustend genoemd moest worden.

Voorts kan uit deze cijfers worden afgeleid, dat de rivierarmen tijdens hun loop door het land slechts een matige verbetering ondergaan; in het bijzonder geldt dit voor de Waal, waarvan het gemiddelde O-gehalte hetzelfde is gebleven; het B.C.D. is evenwel meetbaar gedaald. Dit laatste geldt in gelijke mate voor de Lek te Vreeswijk, doch hier is het O-gehalte gunstiger geworden. De grootste vooruitgang vertoont de IJssel, die bij Kampen zowel wat B.O.D. als O-gehalte betreft gunstig afsteekt t.o.v. Lobith.

Het onderzoek wordt inmiddels voortgezet en dit is ten zeerste toe te juichen, want slechts door een aantal systematisch verrichte waarnemingen leert men een rivier kennen.

Met mijn mededelingen heb ik misschien velen van U teleurgesteld, misschien heb ik wel illusies in rook doen opgaan. Ik acht het zeer wel mogelijk, dat U van mij meer concrete mededelingen over normen en over analysemethoden had verwacht. Ik meende evenwel een waarschuwend woord te moeten laten horen tegen overdrijving van de betekenis van de B.O.D.-cijfers en van de toepassing van de mathematica bij de studie van biologische processen. Beide kunnen ons echter van dienst zijn bij het onderzoek en de beoordeling van een rivier, doch zij moeten met kennis van zaken en geduld worden gehanteerd. Vooral geduld, omdat men over een groot aantal waarnemingen over een behoorlijk tijdsverloop verdeeld moet beschikken om tot verantwoorde conclusies te komen. Er zijn dus vele wensen ten aanzien van het werk, dat nog moet worden verricht. Hiervan noem ik in de eerste plaats uitbreiding van het onderzoek van de oppervlaktewateren, zowel in kwantitatief als kwalitatief opzicht; dit laatste dan op te vatten in die zin, dat meer gegevens verzameld moeten worden over de chemische, bacteriologische en biologische componenten van het water.

Voorts moet bedacht worden, dat de bestaande onderzoekingsmethoden ons wel in staat stellen conclusies te trekken ten aanzien van de richting waarin verbetering moet worden gezocht en dus voor de praktijk zeer waardevol zijn, doch dat naar verfijning van de meetmethodes gestreefd moet worden, ten einde het inzicht in het rivierregime met betrekking tot de toelaatbaarheid van afvalwaterlozingen te verbeteren.

LIEBMANN heeft gezegd, dat elk oppervlaktewater een persoonlijkheid is met bepaalde karaktereigenschappen.

Wanneer men met deze uitspraak instemt, dan moet men ook beamen, dat het tijd vergt om een rivier te leren kennen en dat bij de bestudering ervan niet uitsluitend de exacte getallen en nauwkeurige becijferingen een rol mogen spelen. In verband hiermede zou ik willen besluiten met een citaat van een mij niet bekend auteur, overgenomen uit „Hatten wir das Wasser nicht", dat luidt als volgt:

„Jene Lebensgezetze, die aus einer Summe der einzelnen uns bekannten und der noch unbekannten Naturgesetze bestehen, können nicht allein mit dem Verstand erkannt werden; sondern bei ihrer Suche muss auch das Herz mit geziemender Bescheidenheit beteiligt sein. Herz wird bei Reagenzglas und Rechenschieber allzuoft als überflüssig erachtet. Doch wir sind Herren der Natur nur insoweit, als wir auch ihr Diener sind."

LITERATUUR

ADENEY, W. E. — The Dilution Method of Sewage Disposal, 1928.

AMMON, F. VAN — Die mathematische Erfassung der natürlichen Selbstreinigung und der Abwasserbelastung in Fliessgewässern. *Münch. Beitrage zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 2* (1954) 51–107.

FAIR, G. M. — The Dissolved Oxygen Sag. *Sew. Works. J. 11* (1939) 445

IMHOFF, K. — Taschenbuch der Stadtentwässerung. U.S. Public Health Service. Bull. No. 131, 143, 146, 171, 173, 198, 203 en 204

PASVEER, A. — Research on activated Sludge. *Sewage and Industrial Waste 25*, 11 en 12 (1953); *26*, 1 en 2 (1954).

PHELPS, EARLE B. — Stream Sanitation.

ROYAL COMMISSION ON SEWAGE DISPOSAL — 8th Report 1912.

SOUTHGATE, B. A. — Water Pollution. *Chemistry and Industry* (1955) 1194.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE — New York; American Public Health Association.

STREETER, H. W. — Disposal of Sewage in inland waterways. *Modern Sewage Disposal*, 1938.

VIEHL, K. — Grundsätzliche Betrachtungen über den biochemische Sauerstoff-bedarf. *Vom Wasser* (1955) 312.

III. BACTERIOLOGISCHE VERONTREINIGING

N. D. R. SCHAAFSMA

Farmaceutische Hoofdinspectie van de Volksgezondheid

Bij de behandeling van een onderwerp, als vandaag wordt besproken, kunnen we òf uitgaan van bepaalde min of meer scherp geformuleerde eisen en dan nagaan welk oppervlaktewater aan die eisen voldoet, òf we kunnen nagaan welke kwaliteit het oppervlaktewater heeft en dan ons afvragen voor welke doeleinden het water van die kwaliteit kan worden gebruikt.

De eerste methode vraagt op grond van theoretische beschouwingen en praktische ervaringen opgestelde kwaliteitseisen. Aangezien we voor het merendeel van de doeleinden die vandaag worden besproken geen eisen van bacteriologische kwaliteit hebben, heb ik voor het mij toegewezen deel van deze dag de tweede methode verkozen.

Ik wil dus eerst een inventarisatie maken van onze grootste oppervlaktewaterreservoirs, nagaan waarvoor dit water wordt gebruikt en aan de hand van deze gegevens trachten iets te zeggen over de eisen, welke we aan het water moeten stellen voor het gebruik voor bepaalde doeleinden.

Laat ik U direct waarschuwen Uw verwachtingen ten aanzien van dit laatste punt niet te hoog te spannen.

De kwaliteitsbeoordeling van het oppervlaktewater stuit al direct op moeilijkheden. Immers de bacteriologische samenleving is dynamisch. Wat we op een gegeven ogenblik vinden op een bepaald punt, kan een ogenblik later of op een ander punt geheel anders zijn.

De bacteriën toch vormen levend materiaal, dat ontstaat, zijn levensfuncties verricht en sterft. Kwaliteit en kwantiteit zijn dus afhankelijk van factoren, die ten dele althans buiten het bacteriologisch milieu liggen. Immers de bacteriën vinden hun bronnen van energie voor het verrichten van hun levensfuncties en de opbouw van hun cellen in het beschikbare voedsel. Dit is vrijwel steeds organisch materiaal en voorzover de bacteriën in niet al te zeer verontreinigd water voorkomen, opgeloste zuurstof. Anderzijds wordt het bacteriënleven bedreigd door hogere organismen, in hoofdzaak protozoën, terwijl eveneens een strijd gevoerd wordt tussen verschillende soorten onderling.

Als gebruikers van organische stoffen kan men de bacteriën nauwelijks verontreinigers noemen. Integendeel, het zijn vuilopruimers en ze vervullen als zodanig in onze samenleving een hoogst nuttige taak. Daarentegen kunnen ze door de zuurstof, die ze verbruiken, het water brengen in een toestand, die belangrijk ongunstiger is dan wanneer ze niet aanwezig waren. Echter ook in een zuurstofarm milieu verrichten de bacteriën hun taak. De anaërobe afbraak van organische stof verlaagt het kwantum van de laatste. Dit resulteert uiteindelijk onder herstel van de aërobe omstandigheden in rein water. We noemen dit proces de zelfreiniging.

Maar de bacteriën zijn niet steeds vuilopruimers, of wil men het anders zeggen.

onder de vuilopruimers zijn er ook soorten bacteriën die schade kunnen veroorzaken; schade aan de gezondheid van mens en dier, schade of hinder voor de industrie.

Hoe nu wordt de bacteriologische kwaliteit van het water bepaald? Ten aanzien van de schade, die ze kunnen berokkenen aan de gezondheid, zou een direct onderzoek op de aanwezigheid van pathogene kiemen de meest positieve beoordelingen kunnen leveren van de kwaliteit van het water.

Dit onderzoek vindt echter slechts zeer zelden plaats omdat de methoden, die ons hiervoor ten dienste staan, niet zeer gevoelig en vaak omslachtig zijn. Het bewijs van de aanwezigheid van deze kiemen wordt dan ook meestal pas verkregen als het water reeds is gebruikt en het kwaad dus al kan zijn aangericht.

Voor het onderzoek wordt dan ook algemeen een methode gevolgd, die aantoont, dat er kans bestaat, dat in het water pathogene kiemen voorkomen, met andere woorden men zoekt naar bacteriën die praktisch steeds zullen voorkomen indien ook pathogene aanwezig zijn en gebruikt hiervoor bacteriën van faecale oorsprong. Dit principe van onderzoek heeft bovendien het voordeel dat men een ruime marge kan leggen tussen verdacht en gevaarlijk water, hetgeen de veiligheid zeer verhoogt. Ook deze methoden zijn tijdrovend. Een studie, die beoogt resultaten van het onderzoek op kortere termijn te verkrijgen, lijkt mij zeer gewenst en alleszins de moeite waard.

Ik wil hier niet ingaan op de methoden, welke nu voor het onderzoek worden gebruikt. Laat ik volstaan met op te merken, dat er vele verschillende technieken worden toegepast, die ieder voor zich weer allerlei variaties vertonen.

Hoewel deze methoden alle met goede resultaten gebruikt worden voor de beoordeling van de kwaliteit van het water, een bezwaar van deze diversiteit in werkwijze is, dat vergelijking van de uitkomsten van verschillende methoden zeer moeilijk is.

Ten aanzien van het onderzoek van drinkwater is thans meerdere eenheid gekomen dank zij de samenwerking van de verschillende waterleidinglaboratoria in het KIWA-verband.

Ook internationaal worden in het verband van de Wereldgezondheidsorganisatie stappen genomen om tot meer eenheid in het wateronderzoek te komen.

Daar de beschikbare cijfers over de kwaliteit van ons oppervlaktewater zijn gepubliceerd over een lang tijdsverloop en afkomstig zijn uit verschillende laboratoria, terwijl sommige onderzoekers niet nauwkeurig de door hen gebruikte methoden hebben vermeld, was het uiterst moeilijk te komen tot een goede klassificatie van ons oppervlaktewater naar zijn bacteriologische eigenschappen.

Met de nodige reserve, ten aanzien van de vergelijkbaarheid van het aanwezige cijfermateriaal meen ik echter te mogen zeggen, dat we in hoofdzaak kunnen onderscheiden de volgende soorten oppervlaktewater:

a. de grote rivieren,

b. het IJsselmeer en met de daarmee in de toekomst misschien op één lijn te plaatsen Deltameren,

c. de meren en plassen in het Hollandse en Friese poldergebied,

d. kanalen en andere kleinere waterlopen.

Deze 4 groepen onderscheiden zich in bacteriologisch opzicht in een vrij sterke verontreiniging van de rivieren, een betere toestand van het IJsselmeer, een hoge graad van zuiverheid in de meren en plassen en een zeer sterke variatie van de ergste verontreiniging tot een gunstige toestand in de kleinere volumina.

Wanneer ik zeg, dat de toestand op het IJsselmeer beter is dan op de grote rivieren, dan moet ik een uitzondering maken voor het gebied op dat meer rond de rioolmond, waardoor Amsterdam een deel van zijn afvalwater loost.

De hiervolgende figuur 1 geeft een beeld van de kwaliteit van het IJsselmeerwater op verschillende afstanden van de rioolmond en aan de kust en in vergelijking daarmee het water van de IJssel bij Doesburg en van de Nieuwe Maas bij Rotterdam.

De lijnen geven voor iedere monsterplaats de percentages positieve uitkomsten van de Eykman-gistingen voor verschillende hoeveelheden water. Naarmate het water meer vervuild is, liggen de lijnen meer naar rechts. Zoals U ziet, heeft op 6 km van de rioolmond het water een kwaliteit, die overeenkomst vertoont met het rivierwater en met dat van de kustplaatsen. Dit is, naar mij voorkomt, belangrijk met het oog op de geschiktheid van het water voor zelfreiniging.

Onderzoekingen naar de zelfreiniging zijn eveneens verricht door MULDER in de Drentse A tussen Assen en De Punt, terwijl, naar ik meen, Mevr. dr. N. L. WIBAUT-ISEBREE MOENS thans de factoren bestudeert, welke op de zelfreiniging van invloed zijn.

Op de benedenrivieren is de toestand minder gunstig dan op de IJssel en het IJsselmeer. Opmerkelijk is, dat op deze benedenrivieren weinig valt te merken van invloeden

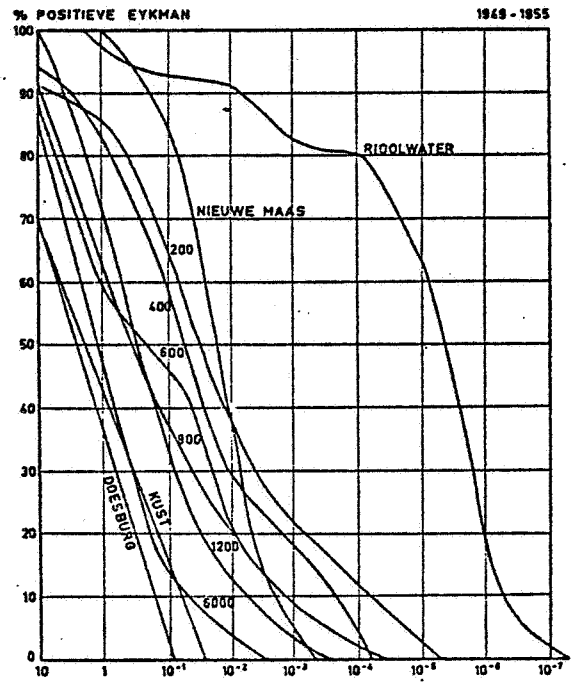


FIG. 1.

Percentages positieve Eykman-proeven in verschillende hoeveelheden water uit de Amsterdamse rioolmond in het IJsselmeer en van het meerwater op toenemende afstand er van, vergeleken met water aan de oevers van het meer en met rivierwater.

FIG. 1.

Percentages of positive Eykman-tests in various quantities of water of the Amsterdam sewer outlet in the IJssel-lake and at increasing distances from the outlet compared to the water of the banks of the lake and to riverwater. Pourcentages des résultats positifs des épreuves d'Eykman en différentes quantités d'eau de la bouche de l'égout d'Amsterdam dans le lac IJssel et à des distances accroississantes de la bouche comparées avec l'eau aux bords du lac et avec l'eau des fleuves.

van de seizoenen en de waterstanden op de bacteriologische kenmerken. Wel zijn er maxima en minima die aanzienlijk afwijken van de gemiddelden, maar de maandgemiddelden zijn binnen redelijke grenzen wel vrij constant te noemen.

Nog aanzienlijk beter dan de oevers van het IJsselmeer zijn onze plassen en meren. Coli- en Eykman-titers van 10 ml en hoger zijn geen uitzondering, al komen er lagere cijfers voor. Wat nu is de oorzaak van deze gunstige toestand. Zeker ten dele een goede zelfreiniging bij een langzame doorstroming en een geringe diepte, waardoor de zuurstofopname ruimschoots voorziet in de behoefte.

Verder is b.v. op de Zuidhollandse plassen de verontreiniging in het algemeen niet groot. In het rapport-MOLT betreffende Rijnlands Boezem zien we dat de doorstroming van de Zuidhollandse plassen in hoofdzaak van oost naar west gaat, terwijl de verontreiniging op Rijnlands Boezem in hoofdzaak aan de westkant plaats vindt. Alleen Gouda heeft hier een ongunstige invloed. Over de Friese meren zijn nagenoeg geen gegevens bekend. Ik meen wel te mogen aannemen dat hier de toestanden even gunstig zijn als in de Hollandse plassen.

Over de kanalen en andere kleine waterlopen kan ik kort zijn. De variatie in verontreiniging en reinheid is hier zo groot dat er niet uitputtend op kan worden ingegaan. Bepalend voor de kwaliteit van het water op de kanalen is de hoeveelheid riool- en industrievocht dat er op geloosd wordt in verband met de kanaalinhoud, de doorstroming e.d. Het rapport van Mevrouw WIBAUT-ISEBREE MOENS geeft duidelijk aan dat in gebieden met sterke industrialisatie de verontreiniging schrikbarend is. Al geeft het rapport geen uitkomsten van bacteriologische onderzoekingen, het is duidelijk, dat in de kanalen in de veenkoloniën, Twente, Zuid-Limburg en Noord-Brabant, evenals in de Eem en de Vecht en op andere meer beperkte plaatsen, enorme hoeveelheden bacteriën moeten voorkomen, waaronder ongetwijfeld zeer vele faecaalbacteriën. Andere kanalen en sommige beken daarentegen bevatten water, dat meer overeenkomst vertoont met dat van de meren en plassen.

Na dit globale overzicht van de kwaliteit van ons oppervlaktewater in bacteriologisch opzicht, moeten we thans nagaan voor welke doeleinden het wordt gebruikt en dus veelal daar ook voor geschikt is.

De drinkwatervoorziening van het westen des lands dekt ongeveer 40% van zijn behoefte met oppervlaktewater, terwijl verwacht moet worden dat dit in de toekomst nog in veel grotere mate het geval zal zijn. Het accres in de waterbehoefte zal toch voor een groot deel moeten worden opgevangen door het oppervlaktewater, wanneer tegen het einde van deze eeuw ongeveer de dubbele hoeveelheid water gedistribueerd zal moeten worden als thans het geval is.

Gelukkig voeren onze rivieren deze hoeveelheden aan en gezien de resultaten, welke in verschillende bedrijven worden bereikt, is het water bruikbaar. Of deze zuivering plaats vindt in langzame zandfilters, door coagulatie en snelfiltratie, door natuurlijke zelfreiniging in de meren of infiltratie in de duinen, water met gunstige bacteriologische eigenschappen wordt verkregen. Technisch is het zeker mogelijk water, dat veel rijker is aan bacteriën dan dat van onze rivieren, van alle bacteriën te ontdoen. In hoeverre het economisch verantwoord is zulk slecht water in behande-

ling te nemen, moet worden uitgemaakt door zorgvuldig onderzoek. STREETER geeft aan dat 5000 coli's per 100 ml ongeveer de grens is voor water, dat met moderne middelen economisch kan worden gezuiverd. Met de ongeveer 2 à 3000 faecaalbacteriën per 100 ml (Eykmantiter 0,03—0,05 ml) in het rivierwater zijn we nog niet aan deze uiterste limiet toe, doch de slechtere uitkomsten, die wel worden gevonden, tonen aan, dat deze grens soms wordt overschreden. Er zal dan ook zorgvuldig naar moeten worden gestreefd de verontreiniging van het rivierwater zo gering mogelijk te doen zijn.

De zuivering van water voor de drinkwatervoorziening berust op het principe van het opwerpen van barrières tegen het doordringen van verontreinigingen van de winplaats naar de tapkraan, op zodanige wijze, dat wanneer één barrière in zijn functie tekort schiet, de volgende die taak kan overnemen. De eerste barrière is het innemen van water van zo goed mogelijke kwaliteit. Als zodanig is ons rivierwater reeds nu niet het meest verkieslijke. Ook hierin kan een motief worden gevonden om te trachten verontreiniging van de rivieren zo veel mogelijk te voorkomen.

Tegen de geschiktheid van het IJsselmeer als bron voor de drinkwatervoorziening werd nimmer de bacteriologische kwaliteit van het water aangevoerd. De verontreiniging, die veroorzaakt wordt door de lozing van het Amsterdamse rioolwater op het IJsselmeer, moge echter een vingerwijzing zijn te voorkomen, dat iets dergelijks plaats zal vinden op de toekomstige Deltameren.

Ik ken slechts één waterleidingbedrijf, dat de plassen gebruikt voor de waterwinning, doch dit is een bedrijf, dat geen slechte voorbeelden geeft, nl. dat van Amsterdam. De zelfreiniging op de Loosdrechtse plassen en de waterleidingplas is zorgvuldig bestudeerd en gezien de betere kwaliteit van het plassenwater in vergelijking met het rivierwater is er geen twijfel dat hier bacteriologisch gezien een prachtige waterwinplaats aanwezig is.

Reeds nu werd in het water van de waterleidingplas gevonden, dat in 29 % van de monsters van 100 ml de Eykmanproef negatief uitviel. Zou voldoende water aangevoerd kunnen worden op de andere meren, dan zouden ook deze in bacteriologisch opzicht een geschikte winplaats kunnen zijn. Bestudering van dit probleem is echter wel nodig, maar naar mij voorkomt ook nuttig, omdat wateronttrekking aan de plassen in vele gevallen het leggen van grote transportleidingen zal kunnen voorkomen.

Ten aanzien van de kanalen mogen we minder optimistisch zijn. Hun geringe inhoud en de verontreiniging, welke aan sterke schommelingen in aard en hoeveelheid onderhevig kan zijn, maken deze kanalen weinig aantrekkelijk.

Weinig is bekend over de invloed van bacteriën, welke met water op bouwland worden gebracht, op de groei van de planten. Naar mij voorkomt is het bacteriënleven in de grond zo krachtig, dat specifieke waterbacteriën zo spoedig ten onder gaan dat ze geen invloed op de oogst hebben.

Toch is het niet ondenkbaar, dat bij het besproeien van te velde staande gewassen en in het bijzonder van oogstrijpe gewassen, schadelijke uit water afkomstige bacteriën, achterblijven. Zouden zulke produkten rauw worden gegeten, eventueel met

andere eetwaren gemengd enige tijd blijven staan en dan geconsumeerd worden, dan is het niet uitgesloten, dat infectieuze ziekten ontstaan. RUDOLFS vond, dat bij besproeiing van fruit en groenten binnen een maand vòòr het oogsten faecaalbacteriën en sommige pathogene organismen op de oogst bleven leven en dus gevaar kunnen opleveren bij consumptie van het fruit of de groenten. Hetzelfde is ook mogelijk indien landbouwprodukten in verontreinigd oppervlaktewater gewassen worden om ze een fris uiterlijk te geven voor ze naar de markt gaan.

Voor de visserij geldt ongeveer hetzelfde als ik heb gezegd aangaande de landbouw. De vis trekt zich van de bacteriën niets of weinig aan, optredende vissterfte wordt, als hij aan het water wordt toegeschreven, nimmer in verband gebracht met het voorkomen van bacteriën. Waarmede niet gezegd is dat er geen voor vissen pathogene kiemen zouden zijn.

Doch zo goed als rauwe groenten en vruchten van water afkomstige bacteriën kunnen dragen, kunnen ook vissen pathogene kiemen herbergen. Wordt deze vis gekookt, dan is het gevaar voor ziekten gering, doch er zijn voorbeelden bekend van paling, die onvoldoende was gerookt, en paratyfus veroorzaakte. VAN DEN BROEK [1] geeft een beschrijving van deze en enkele soortgelijke vergiftigingsgevallen. Oesters en mosselen vallen buiten het verband van deze verhandeling, aangezien zij zout of brak water nodig hebben.

In de veeteelt zijn enkele gevallen bekend van schade door bacteriologisch verontreinigd water. Het drinken van water uit sloten waarin het afvalwater van een tuberculose-sanatorium werd geloosd, heeft aanleiding gegeven tot besmetting van het vee. Ook is het voorgekomen, dat een sloot afvalwater bevatte van een leerlooierij, welke buitenlandse met miltvuur besmette huiden verwerkte. Deze ziekte openbaarde zich nadat het vee met het water in contact kwam.

Ten slotte moge ik dan nog vermelden het voorkomen van Brucellosis en de verspreiding van die ziekte door water onder het vee. Het werpen van het doodgeboren kalf of de placenta in het water kan dit laatste met de *Brucellae* besmetten. De ziekte van Bang kan via het vee op de mensen worden overgebracht.

Bij de bespreking van de hinder of schade, welke de industrie ondervindt c.q. veroorzaakt ten gevolge van het gebruik van water, dat bacteriologische infecties bevat, moeten we onderscheid maken tussen water, dat schadelijk kan zijn voor het produkt en water, dat hinder in het bedrijf veroorzaakt. Het gebruik van water, dat vrij is van bacteriologische verontreiniging, moet worden geëist in de bedrijven, waarin het water in aanraking kan komen met levensmiddelen.

De hoogste eisen moeten worden gesteld aan water, dat in de zuivelindustrie gebruikt wordt voor het schoonmaken van emmers, flessen, apparaten e.d., aan water, dat gebruikt wordt voor de bereiding van ijs en koolzuurhoudende dranken, aan water, dat dient voor het wassen van te conserveren fruit en groenten, enz.

---

[1] VAN DEN BROEK, diss., Utrecht 1948.

Andere bedrijven nl. de microbiologische, zoals bierbrouwerijen en gist- en spiritusfabrieken, werken meest met reincultures. Hier mag het proces dus niet worden geïnfecteerd door het inbrengen van andere bacteriën in de reactievaten. Eveneens is goed water vereist door de bedrijven die aan ontleding onderhevige produkten fabriceren, zoals stijfselfabrieken.

Tegenover deze bedrijven staan andere, waar het op een paar bacteriën meer of minder niet aankomt. Noemen we daarvan eerst de microbiologische bedrijven als vlasroterijen. De zich hierin afspelende bacteriologische processen zijn zo ruw, dat de bacteriologische kwaliteit van het water van geen betekenis is. Evenmin is het natuurlijk van enige betekenis hoeveel bacteriën er zitten in het water, dat wordt gebruikt in de industrieën, welke gebruiksstoffen vervaardigen als b.v. metaalbedrijven, papier- en textielfabrieken.

Toch kan water, dat rijk is aan bepaalde bacteriën, onder bepaalde omstandigheden hinder in het bedrijf opleveren. Dichtgroeien van leidingen kan het gevolg zijn van de woekeringen van ijzerbacteriën.

Ten slotte komen we dan aan de eisen te stellen aan water voor de recreatie. In ons waterrijke land is de trek naar meer en plas, rivier en zwembad groot voor het vinden van ontspanning. Ook bij het in acht nemen van goede voorzorgsmaatregelen om het oplopen van ziekten, welke door water kunnen worden veroorzaakt, te voorkomen, is het nimmer uitgesloten, dat oppervlaktewater direct of indirect wordt geconsumeerd of in contact komt met het lichaam. Met een plons in het water kan het neus en mondholte binnendringen en maag en ingewanden bereiken, bij het wassen van levensmiddelen of eetgerei kunnen organismen uit het water op het wasgoed achterblijven, een Weilse spirochaet kan in het zwembad door de huid van de voet binnendringen, wie weet komt men niet hier of daar het poliomyelitis-virus tegen of worden de ogen door conjunctivitus aangetast.

Zou de watersport dus slechts mogen worden beoefend in water van geen mindere kwaliteit dan drinkwater of misschien het water uit de grote meren? Ik geloof dat deze eis zo gesteld te zwaar is, gezien het feit, dat ziekten onder vacantiegangers sporadisch konden worden teruggebracht tot het water. Eén der oorzaken hiervan is wellicht dat zij, die hun ontspanning zoeken op het water, gezond zijn en weerstand kunnen bieden aan eventueel voorkomende lichte infecties. Een andere, dat buiten de bewoonde wereld eventueel voorkomende verontreinigingen reeds sterk zijn verdund en pathogene kiemen reeds ten onder zijn gegaan of verzwakt. Bovendien geloof ik dat de winst, die ons volk aan gezondheid kan boeken uit een vakantie op of aan het water ruimschoots opweegt tegen het gevaar, dat een enkeling loopt bij het zoeken van recreatie op of aan het water, dat enigszins verontreinigd is.

Ik meen dan ook, dat recreatie op de binnenmeren en doorgaans ook op de rivieren en het IJsselmeer en straks op de Deltameren volkomen verantwoord is mits men de voorzichtigheid betracht. Onder voorzichtigheid wil ik dan verstaan de zorg voor het direct consumeren van goed water, dat kan worden meegenomen in vaten gevuld uit de kraan van een waterleiding of verkregen kan worden door koken van het oppervlaktewater. Verder dat men in de keuze van zijn zwemplaats kieskeurig

moet zijn. Dus niet zwemmen bij een lozingspunt van rioleringen of fabrieken en ten slotte dat men het vaatwerk na het wassen goed afdroogt en in de zon laat staan.

Een kaart voor de watersport, waarop de plaatsen van ernstige verontreiniging aangegeven zijn, zou in dit verband wellicht aanbeveling verdienen.

Thans nog een enkel woord over de zwembaden. Ik mag wel zeggen: gelukkig zijn vele slecht gelegene uit ons oppervlaktewater verdwenen. Zo goed als ik geen bezwaar heb tegen het zwemmen in het vrije water voor de geroutineerde waterliefhebber, die de gevaren er van zich bewust is en zich daarnaar zal gedragen, zo ongewenst acht ik het gelegenheid te geven in voor dat doel aan open bacteriologisch verontreinigd water gebouwde inrichtingen. Hier, dikwijls onder de rook van stad of dorp, misschien zelfs vlak bij de lozing van een riool of de uitmonding van een haventje, kan de ophoping van mensen in een bad wel degelijk gevaren herbergen. Hoezeer ten aanzien van dit punt de inzichten veranderd zijn, is wel aardig hier te vermelden; uit een publikatie van de vroede vaderen van Dordrecht van omstreeks 1600 is te lezen: „dat niemand, hij, zij, oud of jong en ondervinde te baden in dezer stadgrachten opdat de wateren reyn en suyver mogen blijven, op het verbeuren van haar bovenste kleed".

Hoe toen de bacteriologische eigenschappen van het water waren, weet ik niet. Ik meen echter te mogen betwijfelen of zij overeenkwamen met de eisen door de Zwembaden Commissie T.N.O. opgesteld. Deze verlangen dat zwemwater, dat niet behandeld wordt, dus oppervlaktewater, in 5 × 0,2 ml doorgaans geen Eykmanpositieve reactie mag vertonen en een kiemgetal beneden 500 per ml moet hebben. Zulk water vinden we in ons land niet in de grote rivieren en slechts zeer zelden in de kanalen.

Aan het einde van deze voordracht moge ik een samenvatting geven van de eisen, die aan ons oppervlaktewater moeten worden gesteld ten aanzien van de bacteriologische hoedanigheid. Deze eisen zijn in algemene zin dat voor bepaalde doeleinden water van zeer hoge kwaliteit moet worden verlangd, terwijl voor andere doeleinden de eisen niet zwaar behoeven te zijn voor zover het de algemeen gangbare kenmerken van faecale verontreiniging betreft.

Echter zullen wel specifieke eisen, nl. ten aanzien van het voorkomen van pathogene bacteriën, moeten worden gesteld, ook al zijn de eisen, wat betreft het voorkomen van faecaalbacteriën, laag.

Dit laatste geldt in het bijzonder voor landbouw, veeteelt en visserij.

De drinkwatervoorziening kan volstaan met water van ongeveer 5000 Esch.coli per 100 ml, maar lagere aantallen faecaalbacteriën zijn gewenst.

Voor recreatie kan men accepteren b.v. 1000 Esch.coli per 100 ml indien het water niet recent is verontreinigd, doch voor zwembaden niet meer dan 100.

De industrie heeft òf zeer goed, nagenoeg steriel water nodig, òf stelt bijna geen eisen.

Hoe kan aan deze eisen worden voldaan?

Steeds zal er naar moeten worden gestreefd de verontreiniging zo gering mogelijk te doen zijn. Aangezien echter gebruik moet worden gemaakt van bestaande toe-

standen, zal ter voorkoming van erger ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de recreatie zorgvuldig geval voor geval moeten worden overwogen of, waar, van welke hoedanigheid en in welke hoeveelheid afvalstoffen op het water mogen worden gebracht zonder het laatste zo zwaar met bacteriën te belasten, dat ze zich over te grote afstand verspreiden.

Ter voorkoming van de verspreiding van ziekten door landbouw- en veeteeltprodukten onder mens en dier, is het nodig, dat de landbouwer en veehouder doordrongen worden van de mogelijke gevolgen, die het onverantwoord gebruik van water, hetzij voor sproei- en drenkdoeleinden, hetzij door het erin deponeren van verkeerde stoffen, kan hebben.

Betere kennis van het vóórkomen van pathogene kiemen in ons oppervlaktewater zal er mogelijk toe kunnen bijdragen zonodig geëigende maatregelen te treffen om het water van deze organismen vrij te houden.

De industrie zal, wanneer zij water van goede bacteriologische kwaliteit nodig heeft en hiervoor oppervlaktewater wil gebruiken, de bekende middelen tot reiniging en desinfectie moeten toepassen.

Indien U had verwacht dat ik U als conclusie concrete cijfers zou voorleggen, welke voor de bacteriologische kwaliteit van het oppervlaktewater voor bepaalde doeleinden zouden moeten worden verlangd, dan heb ik U moeten teleurstellen.

Moge men dan echter troost vinden in de woorden van SEDGWICK: „*Standards are devices to keep the lazy mind from thinking*".

IV. PLANKTON

G. P. H. VAN HEUSDEN

Gemeentewaterleidingen van Amsterdam

INLEIDING

In elke kubieke meter oppervlaktewater bevinden zich enkele grammen levende stof in de vorm van vele microscopisch kleine organismen, die men gewoonlijk aanduidt met de verzamelnaam plankton. Tabel 1 laat als voorbeeld een lijst zien van een onder het microscoop uitgeteld en uitgemeten planktonmonster. Duidelijk valt hierin de grote verscheidenheid van organismen, afmetingen en aantallen op. Enkele van de soorten zijn op de bijgaande microfoto's te zien (fig. 1, a t/m d). Toch is zulk een lijst van plankton-organismen nog verre van volledig. De laatste kolom ervan geeft in aflopende rangschikking de volumina van de verschillende soorten. Deze getallen liggen op een hyperbool (zie fig. 2), die asymptotisch de nullijn nadert. De planktonlijst is met enige moeite twee maal zo lang te maken door haar aan te vullen met de zeer kleine en zeer zeldzame soorten, die het asymptotische gedeelte van de hyperbool verlengen. Zij leveren echter geen bijdrage van betekenis meer tot het totale planktonvolume.

In ieder water treft men een andere samenstelling van het plankton aan. In sommige wateren spelen diatomeeën de hoofdrol, in andere blauw- of groenwieren enz. Dit is afhankelijk van allerlei omstandigheden, zoals de chemische samenstelling van het water, de vervuiling, het al dan niet stromen, het jaargetijde enz. Een planktonkenner kan daardoor de herkomst en de toestand van het water beoordelen. Iedere planktonsoort reageert op eigen wijze op elk der omstandigheden. Door de veelheid van omstandigheden en van soorten behoeft het ons dan ook niet te verwonderen, dat er ook een waarschijnlijkheidsverband is te vinden in de volumina der onderscheiden planktonsoorten, zoals in fig. 3 is te zien.

Gedurende het winterhalfjaar is er veel minder plankton dan gedurende de zomer. Dit geldt in het algemeen. Iedere soort heeft zijn eigen jaarcyclus. Bij sommige valt een maximale ontwikkeling te constateren in het voorjaar, andere vertonen deze in de zomer, weer andere komen het gehele jaar door in een constant aantal voor. Fig. 4 geeft hiervan enige voorbeelden.

De hoeveelheid plankton, die maximaal tot ontwikkeling komt, is voor alle wateren verschillend, maar van jaar tot jaar vrij constant. Fig. 5 toont de totale hoeveelheid plankton in 1955 in de Loosdrechtse Plas, Westeinder Plas, IJzeren Man te Vught en de Lek bij Vreeswijk. Overigens zijn wij slecht geïnformeerd over deze hoeveelheden, want zij zijn het enige wat wij over 1955 van de Nederlandse wateren weten.

BIOLOGISCHE ZELFREINIGING

Ondanks het betrekkelijk geringe deel, dat het plankton qua volume in het water uitmaakt, speelt het er een belangrijke rol, omdat het een actieve stofwisseling heeft.

FIG. 1*a*
1 = *Asterionella formosa* HASSALL
2 = *Fragilaria crotonensis* KITTON
3 = *Synedra acus* KÜTZING
4 = *Tabellaria fenestrata* (LYNGBYE) KÜTZING

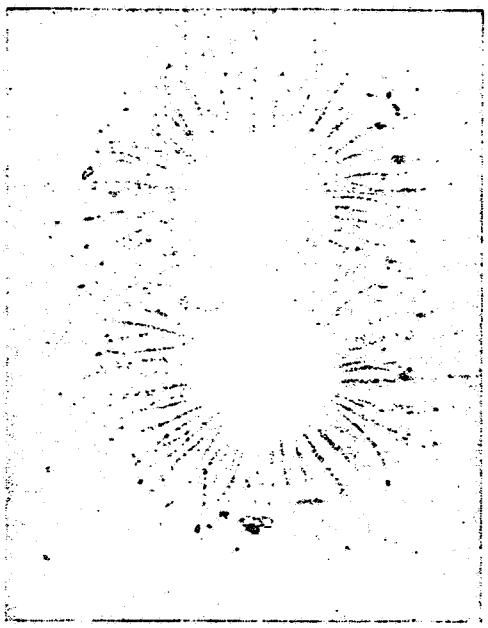


FIG. 1*b*
Gloeotrichia echinulata (SMITH) RICHTER

FIG. 1*c*
Bosmina longirostris O. F. MÜLLER

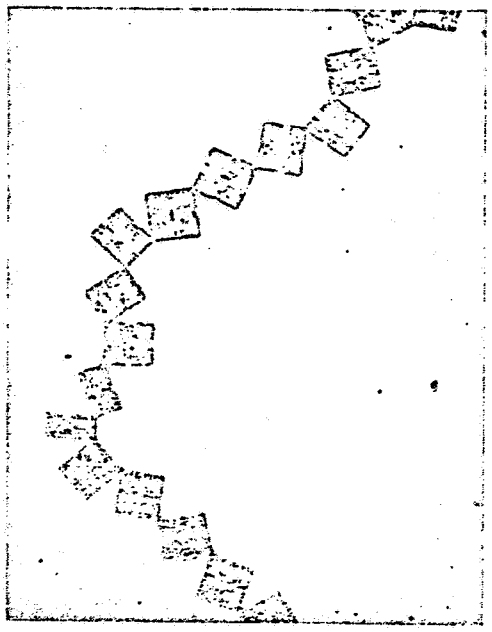


FIG. 1*d*
Tabellaria flocculosa (ROTH) KÜTZING.

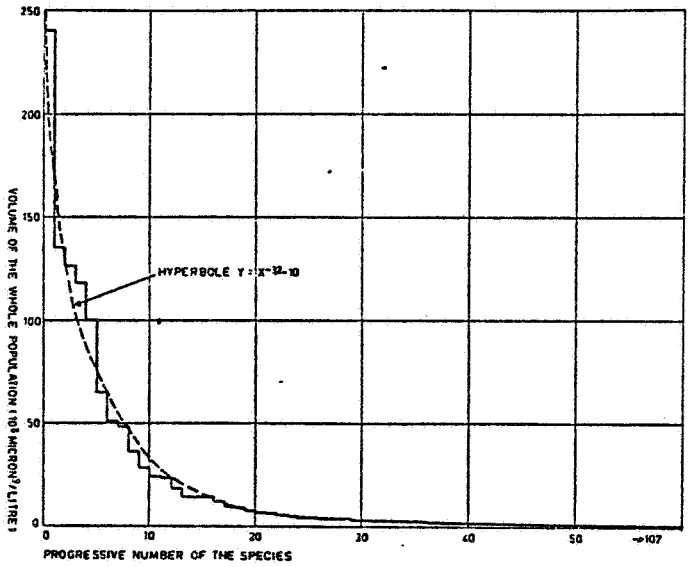


FIG. 2.
De onderlinge verhouding van de plankters in een monster wordt weergegeven door een hyperbolische functie.

FIG. 2.
The mutual proportions of the plankton organisms in one sample are expressed by a hyperbolic function.
Les proportions mutuelles des organismes planctoniques dans un échantillon sont exprimées par une fonction hyperbolique.
Progressive number of the species = le numéro progressif des espèces.

FIG. 3.
De onderlinge verhouding van de plankton-organismen wordt eveneens weergegeven door een kromme van Gauss.

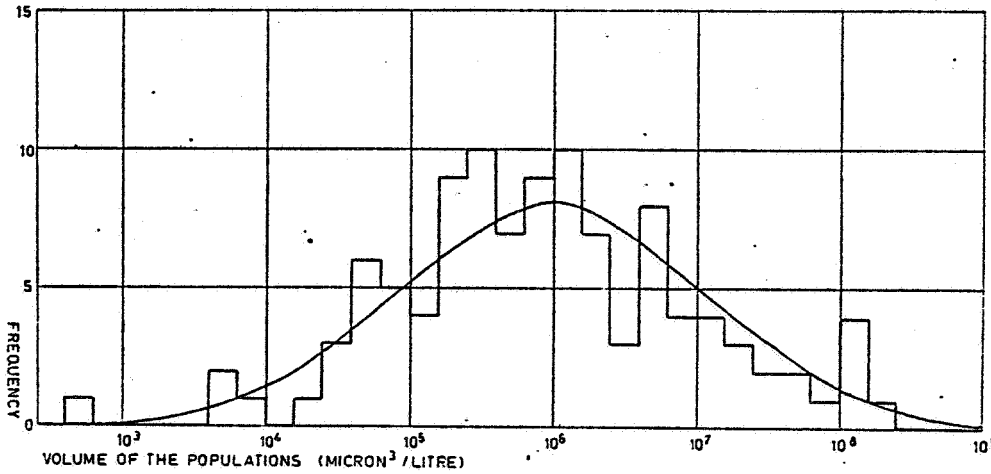


FIG. 3.
The mutual proportions also may be expressed by a Gauss curve.
Les proportions mutuelles sont exprimées aussi par une courbe de Gauss.
Volume of the populations = volume des populations.
Frequency = fréquence.

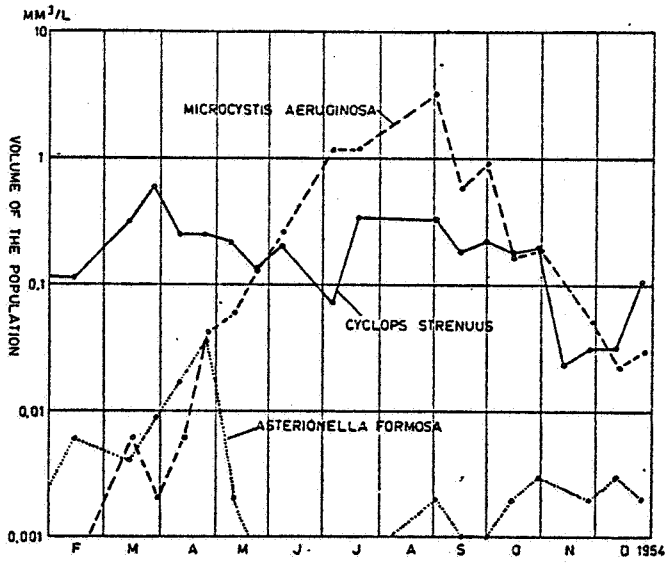


FIG. 4.
Iedere soort reageert op eigen wijze op de invloeden van de seizoenen.

FIG. 4.
Every species reacts in its own way on the influences of the seasons.
Chaque espèce réagit à une manière particulière à l'influence des saisons.
Volume of the population = volume de la population.

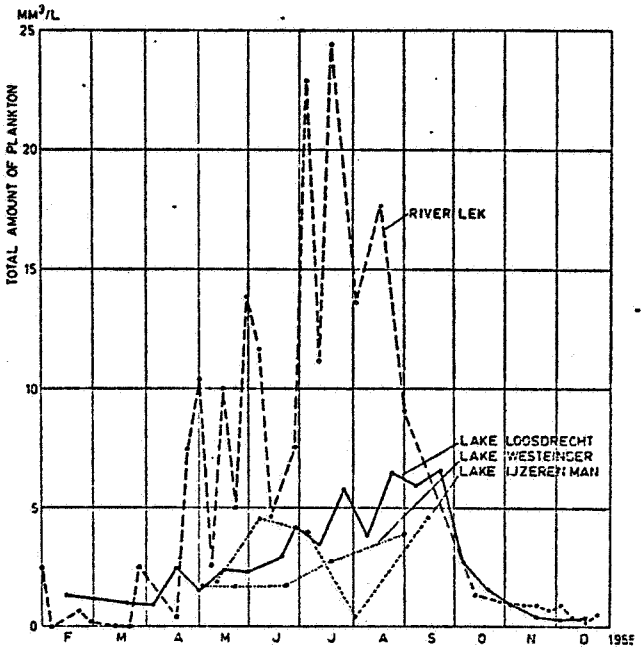


FIG. 5.
Het plankton-gehalte in enige Nederlandse wateren.

FIG. 5.
The amount of plankton in some Dutch waters.
La quantité du plancton dans quelques eaux néerlandaises.
Total amount of plankton = la quantité totale du plancton.

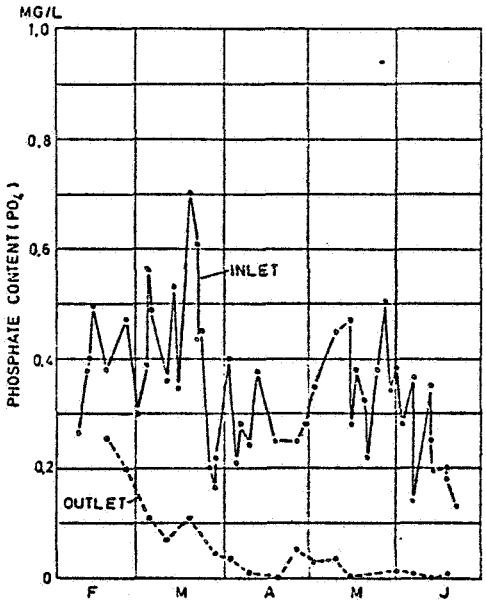


FIG. 6.
Algehele onttrekking van fosfaat uit het water in een vijvertje door het plankton.

FIG. 6.
Total withdrawal of the phosphate from the water of an artificial pond by the plankton.
Extraction totale du phosphate de l'eau d'un étang artificiel par le plancton.
Phosphate content = contenu de phosphate.

De bacteriën, schimmels en protozoën zijn in staat de organische stoffen, die zich in het water bevinden, tot zich te nemen. De verwerking van dit voedsel gaat gepaard met een belangrijke onttrekking van zuurstof uit het water.

Het chlorofyl bevattende plantaardige deel van het plankton (fytoplankton) is in staat zich snel te vermeerderen met behulp van de energie van het zonlicht. Het bouwt uit het water en de erin aanwezige koolzuurverbindingen de organische stoffen van zijn levende substantie zelfstandig op. Daarbij heeft het bovendien behoefte aan stikstof, fosfor, calcium, ijzer en vele andere elementen. De ervaring heeft geleerd, dat de hoeveelheid fosfor in vele wateren zo gering is, dat het fytoplankton deze geheel uitput, zoals in fig. 6 bijvoorbeeld te zien is. Verdere planktongroei wordt hierdoor onmogelijk. Dit is het geval in wateren, die geen bemestende invloed van afvalwaterlozingen ondergaan. In zulke wateren vindt daardoor slechts een matige planktonontwikkeling plaats. Onder zulke omstandigheden ontstaat er een evenwicht tussen de hoeveelheid fytoplankton en de hoeveelheid zoöplankton (dierlijk plankton), die er zich mee voedt.

In de wateren, die wel een bemestende invloed ondergaan, liggen de verhoudingen echter anders. Vooreerst treedt daar nooit een rem op aan de planktonontwikkeling. Verder zijn veel fytoplankters in staat evenals bacteriën de organische stoffen uit het water op te nemen en deze als energie- en voedingsbron te gebruiken. Het zoöplankton is dan niet in staat die enorme ontwikkeling de kop in te drukken. Een massaal, veel hinder veroorzakend plankton is daarvan het resultaat. De snelle vorming van levende organische stof, die evenwel kort daarna weer afsterft, vormt een secundaire belasting van het zelfreinigingsproces in het water. Daarentegen wordt bij de foto-

synthese van het fytoplankton zuurstof ontwikkeld, die in vervuild water een welkome aanvulling betekent van het daar veelal heersende tekort.

Het afstervend plankton zinkt gedeeltelijk naar de bodem en daardoor vindt aan het water een voortdurende onttrekking plaats van de voedingsstoffen, die opgenomen waren. De ervaring heeft dan ook geleerd, dat bij achter elkaar schakelen van meerdere bassins de hoeveelheid plankton, die tot ontwikkeling komt, steeds geringer wordt. De beste bestrijding van overmatige planktongroei is dan ook het bevorderen van deze precipitatie van voedingsstoffen.

Loost men in een rivier afvalwater, dan ziet men eerst een ontwikkeling van de kleine snelle groeiers onder het fytoplankton, die tevens organische stoffen kunnen verwerken. Daarna ontwikkelen zich de langzame groeiers en het zoöplankton, dat ten koste van het kleine plankton leeft. Daarna neemt de planktonhoeveelheid allengs af om ten slotte weer een schone rivier met weinig plankton achter te laten. De Rijn bevindt zich in de eerste van de drie genoemde fasen als hij bij Lobith in ons land komt.

Het plankton is dus het werkzame element in het water, dat de zelfreiniging ervan voltrekt. Ten dele vindt bij dit proces een directe afbraak plaats, ten dele een nieuwe vorming van ongewenste materie. Wij zijn echter te weinig op de hoogte van de kwantitatieve verhoudingen in dit proces, zoals de snelheid van afbraak, de vorming van zuurstof en nieuwe organische stof, om te kunnen zeggen dit proces goed te kennen, laat staan te beheersen. Nog minder kunnen wij er aan denken te trachten dit proces te versnellen.

Visserij

Het fytoplankton wordt gegeten door het zoöplankton en dit alles weer door grotere organismen in de bodem zoals wormen, muggenlarven enz., welke op haar beurt weer het hoofdvoedsel van de vissen vormen. In het zoete water in ons land komen geen vissen voor, die zelf van plankton leven. Wel eten de jeugdstadia veelal plankton en ten behoeve van de viskwekerij wordt in ons land dan ook plankton gevist. De volwassen dieren zijn eveneens op het plankton aangewezen, maar met tussenschakeling van één of meer schakels in de voedselketen. Iedere schakel onttrekt daarbij energie aan de keten voor eigen levensverrichtingen. Voor de volwassen vissen is dan ook maar een relatief gering deel van het oervoedsel, dat het plankton is, ter beschikking. Een visserij op plankton zou dan ook veel meer organische stof opbrengen dan die op vis. Inderdaad staat het onderzoek daarnaar in het brandpunt van de belangstelling.

De visstand staat en valt met de ontwikkeling van plankton. Het behoeft geen betoog, dat de lozing van giftige stoffen zoals fenolen, cyaniden enz. decimerend werkt op plankton, tussenschakels en vis. Inderdaad is de fauna van onze grote rivieren en vele binnenwateren zeer verarmd en het is een bekend feit, dat steur, zalm, elft en andere lekkernijen al lang tot het verleden behoren.

Industrie

Veel industrieën, elektrische centrales e.d. gebruiken oppervlaktewater als koelwater. Een veel voorkomende klacht daarbij is het dichtgroeien van de leidingen en

koelers met organismen. Een aantal dieren, die in dergelijke leidingen gunstige levensomstandigheden vinden, hebben planktonische larven, zoals de zoetwatermossel, zoetwatersponsen enz. Bovendien voeden deze dieren zich in volwassen toestand met plankton. Reeds een geringe begroeiing van de buiswand beïnvloedt het watertransport in ongunstige zin.

Het is daardoor ondoenlijk oppervlaktewater door leidingen te transporteren zonder dat daaraan een behandeling van het water voorafgaat. Veelal wordt het water gechloreerd. De mosselen kunnen zich sluiten en zijn zodoende zeer resistent. De larven treden alleen gedurende het zomerseizoen op; een preventieve bestrijding kan zich daarom tot dat seizoen beperken.

Veeteelt

Microcystis, een ook bij ons veelvuldig voorkomend blauwwier, is herhaaldelijk gebleken giftig te zijn en dodelijk voor het vee. Andere plankters worden ook in dit verband genoemd. Massaal optreden ervan zou ook vissterfte veroorzaken.

Recreatie

Baden en zwemmen in „dik groen" water is weinig appetijtelijk en in druk bezochte badinrichtingen levensgevaarlijk.

Watervoorziening

Waterleidingbedrijven gebruiken zandfilters voor de reiniging van het water. Deze zijn geen afdoende barrière voor de kleine vormen uit het plankton, terwijl de grote vormen sterk verstoppend werken. Bij massaal optredend plankton ontstaan daardoor grote bedrijfsmoeilijkheden. De filtratie moet dan worden ondersteund door chlorering en coagulatie van het water. In stuwmeren e.d. neemt men maatregelen ter voorkoming of bestrijding van overmatige planktongroei. Overigens zijn vele plankters bij waterleidingbedrijven berucht wegens de slechte smaak, die zij aan het water geven — vooral bij massaal afsterven — en die er moeilijk meer uit te verwijderen is.

Beheer van het oppervlaktewater

Hoe dient het oppervlaktewater in het algemeen beheerd te worden gezien van het standpunt van het plankton? Er dient naar gestreefd te worden, dat er een matige planktonontwikkeling plaatsvindt, die karakteristiek is voor een gezond water. Daarbij treden geen moeilijkheden op voor visserij, veeteelt, recreatie en watervoorziening. Een geringe verontreiniging wordt dan gemakkelijk verwerkt. Lozing van grote hoeveelheden organische stoffen, die rotting in de bodem en lage zuurstofgehalten in het water veroorzaken, de lozing van giftige stoffen en het inlaten van zeewater dienen ten enenmale achterwege te blijven. Dit betekent niet alleen reiniging van het afvalwater voor het wordt geloosd, want daarmede kan geen massale groei van fytoplankton worden voorkomen. Hiervoor is bovendien onttrekking van

voedingsstoffen nodig. Onttrekken van fosfor is mogelijk door het te laten precipiteren met ijzerzouten of kalk. Inderdaad is in de Rijn het fosfaatgehalte het laagst, wanneer de concentratie aan andere zouten hoog is. Bevordering van de natuurlijke precipitatie van voedingszouten vraagt inschakeling van langzaam doorstroomde bassins. Een dergelijke hoge eis zal zeker niet door te voeren zijn voor alle wateren in ons land. Het beste lijkt mij te streven naar een indeling in wateren, die voor visserij, recreatie en watervoorziening voor mens en dier bestemd blijven, en wateren, waaraan zulke hoge eisen niet worden gesteld.

LITERATUUR

BOBSON, J. G. The Control of Fouling Organisms in Fresh- and Salt-Water Circuits. *Transactions Amer. Soc. Mech. Engin. 68* (3) 1946.

HUBER-PESTALOZZI, G. Das Phytoplankton des Süsswassers. Die Binnengewässer Bd. 16, Stuttgart 1938.

MATHESON, D. H. The effects of Algae in Water supplies. Rapp. 2nd Congr. Intern. Water Supply Association, Paris 1952.

OHLE, W. Phosphor als Initialfaktor der Gewässer-eutrophierung. *Vom Wasser 20* (1953) 11—23.

OLSON, TH. A. Toxic Plankton. *Water & Sewage Works 99* No. 2 (1952) 75—77.

RYLOV, W. M. Das Zooplankton der Binnengewässer. Die Binnengewässer Bd. 15, Stuttgart 1935.

STEUER, A. Planktonkunde, Leipzig 1910.

TABEL 1. Planktonlijst 2e Loosdrechtse Plas, 12 juli 1955.

	Gemiddelde inhoud 10^3micron^3	Aantal per ml	Volume van de populatie 10^6micron^3/l
Microcystis aeruginosa KÜTZING	4000	0,4444	1800
Gloeotrichia echinulata (SMITH) RICHTER	30000	0,0062	190
Anabaena spiroides KLEBAHN	65000	0,0024	160
Asplanchna priodonta GOSSE	30000	0,0046	140
Chydorus sphaericus O. F. MÜLLER	5000	0,0232	120
Cyclops strenuus FISCHER *juvenile*	10000	0,0080	80
Leptodora kindtii FOCKE *klein*	500000	0,000131	79
Diaptomus gracilis G. O. SARS	40000	0,0018	72
Daphne longispina O. F. MÜLLER *klein*	25000	0,0024	60
Eéncellige *Chlorophyceae* diameter 2 micron	0,004	14200	57
Orthonauplius	1200	0,0432	52
Metanauplius	5000	0,0088	44
Eéncellige *Chlorophyceae* diameter 3 micron	0,014	3000	42
Idem diameter 5 micron	0,05	800	40
Scenedesmus antennatus BRÉBISSON	0,5	70	35
Scenedesmus quadricauda (TURPIN) BRÉBISSON	0,5	70	35
Diaptomus gracilis G. O. SARS *juvenile*	10000	0,0034	34
Leptodora kindtii FOCKE	3000000	0,000011	33
Diatomeae Centricatae	0,1	330	33
Eéncellige *Chlorophyceae* diameter 1 micron	0,0005	62400	31
Scenedesmus quadricauda BRÉBISSON	1	30	30
Chydorus sphaericus O. F. MÜLLER *juvenile*	1000	0,028	28
Mougeotia sp	160	0,16	26
Aphanothece clathrata W. et G. S. WEST	500	0,04	20
Polyarthra trigla EHRENBERG	1000	0,02	20
Keratella cochlearis GOSSE	200	0,09	18
Ceratium hirundinella (O. F. MÜLLER) SCHRANK	100	0,17	17
Bosmina longirostris O. F. MÜLLER	6000	0,0026	15
Diaphanosoma brachyurum LIÉVIN	20000	0,000567	11
Microcystis aeruginosa KÜTZING	75000	0,000141	11
Asplanchna priodonta GOSSE *juvenile*	500	0,02	10
Dreissena polymorpha (PALLAS) *larvae*	1000	0,01	10
Tetraedron minimum (A. BRAUN) HANSGIRG	0,5	20	10
Chroococcus dispersus (v. KEISZLER) LEMMERMANN	40	0,21	8
Gomphosphaeria lacustris CHODAT	30	0,27	8
Gloeotrichia echinulata (SMITH) RICHTER	65000	0,000106	7
Pediastrum boryanum (TURPIN) MENEGHINI	50	0,13	7
Sida crystallina O. F. MÜLLER *klein*	50000	0,000112	6
Volvox aureus EHRENBERG	30000	0,0002	6
Anabaena spiroides KLEBAHN	500	0,0104	5
Pediastrum duplex MEYEN	30	0,15	5
Bosmina longirostris O. F. MÜLLER *juvenile*	1000	0,0036	4
Ceriodaphnia pulchella G. O. SARS	2500	0,0014	4
Chroococcus limneticus LEMMERMANN	40	0,10	4
Crucigenia rectangularis (A. BRAUN) GAY	0,1	40	4
Dinobryon divergens IMHOF	50	0,07	4
Melosira italica (EHRENBERG) KÜTZING	10	0,27	3
Sida crystallina O. F. MÜLLER	150000	0,000019	3
Asterionella formosa HASSALL	1,5	1,47	2
Ceriodaphnia pulchella G. O. SARS *juvenile*	1000	0,0018	2
Daphne longispina O. F. MÜLLER	50000	0,000047	2
Kellicottia longispina KELLICOT	150	0,01	2
Ploesoma hudsoni IMHOF	1000	0,0002	2

	Gemiddelde inhoud 10^3micron^3	Aantal per ml	Volume van de populatie 10^6micron^3/l
Scenedesmus sp 2-cellig	0,1	20	2
Staurastrum paradoxum MEYEN	40	0,04	2
Cyclops strenuus FISCHER	70000	0,000014	1
Daphne longispina O. F. MÜLLER *larvae*	1000	0,001	1
Dinobryon bavaricum IMHOF	50	0,01	1
Fragilaria capucina DESMAZIERES	800	0,0016	1
Pandorina morum BORY	50	0,02	1
Tabellaria fenestrata (LYNGBYE) KÜTZING	2	0,49	1
Codonella lacustris ENTZ	100	0,01	1
Totaal volume (mm^3/liter) (p.p.m.)			3,422

Planktonlijst = *list of plankton.*
= *liste du plancton.*

Gemiddelde inhoud = *mean volume.*
= *volume moyen.*

Volume van de populatie = *volume of the population.*
= *volume de la population.*

Totaal volume = *total volume.*
= *volume total.*

Eencellige = *unicellular.*
= *unicelluleux.*

DISCUSSIE

naar aanleiding van de voordrachten II, III en IV

Ir. P. STELLING:

1. Hoe is de achteruitgang in kwaliteit van het Rijnwater tussen Rees en Lobith te verklaren?
2. Wat wordt bedoeld met visserij op plantaardig plankton?

ANTWOORD:

Ad. 1 (Ir. HOPMANS)

Tussen Rees en Lobith wordt het afvalwater van Emmerich in de Rijn geloosd. Waarschijnlijk is deze lozing (met veel industrieel afvalwater) de oorzaak van dit verschijnsel.

Ad. 2 (Dr. VAN HEUSDEN)

Ten behoeve van de viskwekerij wordt in ons land op vrij grote schaal zoöplankton gevist. Een visserij op fytoplankton is technisch eveneens mogelijk. Ze zou economisch verantwoord zijn indien een verwerking van dit fytoplankton werd gevonden tot een produkt waarvoor een afzet bestond.
Planten als de aardappel, de suikerbiet, de tabak, *Penicillium* enz. worden alle tot zulke produkten verwerkt. Waarom zou van fytoplankton niets te maken zijn?
Een visserij op fytoplankton zou onze binnenwateren tot meer rendabele gebieden kunnen maken en tevens zou zij een bestrijding van de ongewenste overmatige planktongroei betekenen.

Dr. ir. P. C. LINDENBERGH: Waardoor kan als gevolg van het afsterven van het plankton de verwijdering van ijzer en mangaan uit het water moeilijker worden? Ik meen dat het hier een biochemisch proces betreft. Hoe wordt dit proces door het afsterven beïnvloed?

ANTWOORD: (Dr. VAN HEUSDEN)

Plankton doet allerlei organische verbindingen in het water oplossen. Gedeeltelijk zijn deze colloïdaal opgelost en fungeren — evenals b.v. gelatine dat doet — als schutcolloïd. Zulk een schutcolloïd voorkomt dat andere colloïden uitvlokken. De ijzer- en mangaanverbindingen komen in het water grotendeels als colloïdaal ijzer- en mangaanhydroxyde voor. In de filters van het waterleidingbedrijf vlokken zij uit. Het is bekend, dat dit niet altijd gemakkelijk gaat. Als b.v. veel humusachtige verbindingen, die eveneens als schutcolloïd werken, aanwezig zijn, verloopt de ontijzering en ontmanganing slecht in filters. Het is meer opgemerkt, dat dit ook het geval is bij het optreden van veel plankton.

Ir. P. DE GRUYTER: Indien afvalwater wordt geloosd in de nabijheid van een plas, die voor recreatie wordt gebruikt, heeft de zuivering van dat water dan een zodanige goede invloed op de bacteriologische kwaliteit van het plassenwater, dat het verantwoord zou zijn een dergelijke zuivering te bewerkstelligen?

ANTWOORD: (Dr. SCHAAFSMA)

De uiteindelijke hoedanigheid van het water van de recreatieplas zal afhangen van de hoeveelheden geloosd en veranderd water en de kwaliteit van beide. Het geloosde water kan tot een hoge graad van zuiverheid worden gebracht indien de benodigde installaties ervoor worden gemaakt. Of de kosten hiervan zullen opwegen tegen de te behalen voordelen, zal plaatselijk moeten worden beoordeeld.
Bij de bestudering van zulke problemen zal men zich niet slechts op de bacteriologische eigenschappen doch ook op de biologische eigenschappen en de zuurstof-organische-stofhuishouding van de plas moeten richten.

Dr. F. M. MÜLLER: Men kan de verontreiniging met organische stof tot op zekere hoogte karakteriseren met de verhouding B.Z.V./$KMnO_4$. Bij niet-recent verontreinigd water ligt deze gewoonlijk beneden 1 (tot 0,2), doordat relatief veel humusachtige materie aanwezig is, die door $KMnO_4$ gemakkelijk, doch biochemisch moeilijk of niet wordt geoxydeerd. Recent verontreinigd water heeft gewoonlijk een verhouding, die weinig afwijkt van 1 (uitgezonderd strokarton-afvalwater met veel lignine, waarvoor hetzelfde geldt als voor humus).
Bij zeer sterk verontreinigd water, dat tot rotting is overgegaan, is een belangrijk deel der complex organische stof omgezet in organische zuren (vooral azijnzuur) die weinig of niet reageren met $KMnO_4$, doch die biochemisch volledig worden geoxydeerd; hier vindt men een verhouding groter dan 1 (waarden tot 4 à 5).

ANTWOORD: (Ir. HOPMANS)
Met deze opmerkingen kan in het algemeen worden ingestemd. Ook bij biologisch gezuiverd afvalwater keert, vergeleken bij ruw afvalwater, de verhouding tussen $KMnO_4$-getal en B.O.D. om. Het verdient aanbeveling dit verschijnsel nauwkeuriger te bestuderen, mede omdat dit onderzoek zou kunnen leiden tot een beter inzicht in de invloed van industrieel afvalwater op de biologische reiniging.

Dr. ir. N. D. R. SCHAAFSMA: Naar aanleiding van hetgeen dr. VAN HEUSDEN in zijn inleiding heeft gezegd over de recreatie wil ik het volgende opmerken.
Het is geenszins de bedoeling zwembaden uit alle oppervlaktewateren te weren, doch slechts uit die van slechte kwaliteit. Het is gebleken, dat onze oppervlaktewateren dikwijls niet aan de eisen van zwemwater voldoen.
Wellicht is het wenselijk, de oppervlaktewateren te rubriceren in drie groepen:

1. wateren waar zwemmen officieel gesanctionneerd kan worden;
2. wateren waar zwemmen zou moeten worden verboden;
3. een tussengroep van wateren, waar men op eigen verantwoording kan zwemmen.

Ir. C. BIEMOND: De overheid heeft een positieve verantwoordelijkheid (namelijk waar het gaat om de aanleg van zwembaden) en een negatieve (het verbieden van zwemmen). Daartussen ligt een marge, waar de eigen verantwoordelijkheid van het individu beslist.
Het lijkt wenselijk de overheid een kaart ter beschikking te stellen ter advisering inzake de vraag, waar zij het zwemmen zal moeten verbieden en waar toelaten.

Prof. W. F. J. M. KRUL:

1. In zijn inleiding heeft dr. SCHAAFSMA de plassen in Nederland als mogelijke bron voor de drinkwatervoorziening genoemd. Deze plassen zijn echter zo gering van oppervlakte en inhoud, dat zij alleen betekenis kunnen hebben als doorstroombekkens. De kwaliteit van het doorstromende water is evenwel veelal niet voldoende en meestal vormt de algengroei — ten gevolge van het fosfaatgehalte van het water — een bedreiging voor de kwaliteit. De Loenderveense Plas van de gemeentewaterleidingen van Amsterdam, die door grondwater uit de Bethunepolder wordt gevoed en praktisch fosfaatvrij is, vormt hierbij een uitzondering.
2. Bij het onderzoek van de verontreiniging van oppervlaktewateren door organische stof is verfijning van het onderzoek naar de aard van deze stof van groot belang, vooral in verband met reuk- en smaakstoffen met het oog op de drinkwatervoorziening.
In hoeverre biedt het chromatografisch onderzoek, dat nog in een beginstadium verkeert, in dit opzicht hoopvolle vooruitzichten en wordt dit onderzoek in Nederland reeds uitgevoerd?

ANTWOORD:
Ad. 1. (Dr. SCHAAFSMA)
Uit een oogpunt van de bacteriologische verontreiniging is het plassenwater als ideaal aan te merken. Dat naast de bacteriologische eigenschappen vele andere

factoren in aanmerking moeten worden genomen, is onweerspreekbaar, doch behoorde niet tot het onderwerp van de inleiding. Zeker verkeert de Amsterdamse waterleiding nu nog in een gunstige positie, daar zij nog slechts water uit de Bethunepolder via de waterleidingplas zal onttrekken. Onder die omstandigheden zijn reeds verschillende moeilijkheden te overwinnen. Daarom is de plas om andere dan bacteriologische redenen niet zo ideaal te achten. De moeilijkheden zullen groter worden wanneer Amsterdam via de plassen ander water dan dat van de Bethunepolder gaat innemen. Men meent ze echter te kunnen overwinnen. Andere plassen zouden misschien op soortgelijke wijze voor de drinkwatervoorziening geschikt gemaakt kunnen worden. Het is natuurlijk dat hiervoor een uitgebreide studie zal moeten worden gemaakt waarbij alle voor- en nadelen in overweging moeten worden genomen en men zich daarbij niet uitsluitend mag verlaten op de geringe bacteriologische verontreiniging.

Ad. 2. (Ir. HOPMANS)

Ongetwijfeld zal het chromatografische onderzoek een bijdrage kunnen leveren tot een nadere identificatie van stoffen, die in het oppervlaktewater in kleine hoeveelheden aanwezig zijn. Het is daarom wenselijk ook in Nederland met een dergelijk onderzoek te beginnen.

Dr. E. L. MOLT: In Duitsland wordt onder leiding van Prof. HOLLUTA te Karlsruhe sedert enige jaren een zeer uitvoerig onderzoek verricht, dat tot doel heeft de in het rivierwater voorkomende organische stoffen te isoleren en te identificeren. De ophoping vindt plaats door filtratie over actieve kool, waarna door extractie met verschillende oplosmiddelen en geadsorbeerde stoffen in fracties worden gescheiden. Deze fractie worden langs chemische weg verder uit elkaar gehaald, waarna door middel van chromatografie de organische stoffen worden geïdentificeerd. Het ligt voor de hand, dat het niet mogelijk is, op deze wijze alle organische stoffen, die in het water voorkomen, aan te tonen. Wel zal het realiseerbaar zijn, voor een beperkt aantal indicatorstoffen, die ieder voor zich een bepaalde soort van verontreiniging vertegenwoordigen, een chromatografische analyse uit te werken. Een publikatie hierover zal over enige tijd in „*Vom Wasser*" verschijnen.
De chromatografische analysemethoden zullen in de toekomst ook in ons land bij het wateronderzoek worden toegepast. Daartoe zal men zich eerst vertrouwd moeten maken met de techniek van deze nieuwe methoden.

Dr. ir. P. C. LINDENBERGH: De opmerking van Prof. KRUL over de bruikbaarheid van de Nederlandse plassen voor de drinkwatervoorziening wordt bevestigd door de Leidse Duinwater Maatschappij gedurende vijf jaar verrichte onderzoekingen met betrekking tot het plassenwater in Zuid-Holland. Het water is om de door Prof. KRUL genoemde redenen voor drinkwatervoorziening niet altijd bruikbaar (men zie ook hierover de publikaties van Rijnland over zijn boezemwater).

Ir. S. HERWEIJER:

1. Hoe zal de kwaliteit van het water in het toekomstige Veluwemeer zijn?
2. Is het juist, dat de kanalisatie van Rijn en Lek met de daarmee gepaard gaande opstuwing een goede invloed zal hebben op het zuurstofgehalte van het water van deze rivieren?

ANTWOORD: (Ir. HOPMANS)

Ad. 1. Over de kwaliteit van het Veluwse Randmeer heeft spreker geen gegevens beschikbaar. Het zal echter zaak zijn dit meer zoveel mogelijk tegen vervuiling te beschermen.

Ad. 2. Bij de sanering van de Ruhr heeft men met de bouw van stuwmeren met betrekking tot de verhoging van het zelfreinigend vermogen van de rivier gunstige ervaringen opgedaan. Bij de Rijn liggen de stromingsomstandigheden en de vervuilingskwestie echter anders. De vraag, welke invloed deze maatregelen op het zuurstofgehalte van het rivierwater zullen hebben, wordt enerzijds beheerst door de kwaliteit van het Rijnwater bij Lobith in het

bijzonder het B.O.D., anderzijds door het reaëratievermogen van de rivier. Dit laatste zal vermoedelijk door uitvoering van het stuwproject afnemen. Ook uit dezen hoofde zal het dus zaak zijn de vervuiling van de Rijn door organische stoffen uit het buitenland zoveel mogelijk te beperken.

Dr. ir. P. C. LINDENBERGH: Over de kwaliteit van het water van het Veluwemeer is bij andere gelegenheden reeds veel gezegd. Dit water is feitelijk grondwater, dat uit de Veluwe is afgevloeid. Op deze bijeenkomst wordt echter over oppervlaktewater gesproken.

Ir. C. BIEMOND: Wij bespreken inderdaad slechts de kwaliteit van het oppervlaktewater; voor het Veluwemeer spelen daarbij een aantal nog onbekende factoren een rol. Een daarvan is de invloed van het brakke uitslagwater van het gemaal Lovink tegenover Harderwijk.
Voorlopig wordt het Veluwemeer als een reservebron voor de toekomst beschouwd met een vermogen van b.v. 40 miljoen m^3 per jaar.

De VOORZITTER verwelkomt thans van harte Prof. dr. WILLEM RUDOLFS, die op dit ogenblik de vergadering binnenkomt. Spreker herinnert aan de bekendheid die Prof. RUDOLFS zich heeft verworven door zijn werkzaamheden in de Verenigde Staten.

V. ZOUTGEHALTE

C. VAN DEN BERG

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

Het is volgens sommigen niet onwaarschijnlijk, dat de hoogstaande beschavingen in Mesopotamië en Perzië te gronde zijn gegaan door verzilting van de grond o.m. als gevolg van het gebruik van zouthoudend irrigatiewater.

Of men het met deze opvatting eens is of niet, het wijst op het grote belang, dat men terecht aan verzouting toeschrijft, terwijl een dergelijke uitspraak pas in de laatste decennia kon worden gedaan als gevolg van de gegroeide kennis over zoutproblemen. Als er ten aanzien van Nederland gevaren dreigen voor de zoetwatervoorziening, dan moet het zoutgehalte van het water daarbij bepaald als een belangrijk punt worden gezien. Nu de situatie in Nederland zo is dat zoutvrij water slechts door bijzondere maatregelen verkrijgbaar is, blijkt een serie aanpassingen aan de gegeven situatie voor te komen in de vorm van geografische spreiding, zuivering en verversing, die wij als normaal zijn gaan beschouwen. Een verslechtering van de situatie in de vorm van stijgende zoutgehalten zou in verschillende gevallen een verdere aanpassing bijzonder moeilijk maken.

Het gaat er in deze lezing om, maximum grenzen van zoutgehalten in water aan te geven, waarbij nadelen bij het gebruik van dat water niet onoverkomelijk groot zijn voor industriële of biologische processen.

Bij het bepalen van die grenzen doen zich twee moeilijkheden voor:

1e. Er is een vrij groot aantal zouten in water, die hinderlijk zijn bij processen waarvoor water gebruikt wordt.

Men denke aan allerlei industriële bewerkingen, waarbij Fe-, Mn-, Ca- en Mg-zouten storend werken en door bepaalde ingrepen verwijderd worden. Het is niet de bedoeling al deze aspecten van zouthoudend water te behandelen. Anderzijds is het gehalte aan chloriden als enige maatstaf voor „het zoutgehalte" van water veelal ontoereikend om de invloed van zouten in water te kenschetsen. Bovendien lijkt het erop dat de gemakkelijke bepalingsmethode van het Cl geleid heeft tot de idee dat dit anion op zichzelf de enig schadelijke factor zou zijn, een opvatting, die met verschillende feiten strijdt.

2e. Bij het aangeven van toelaatbare grenzen van het Cl-gehalte (of het „zoutgehalte") van water is men geneigd te denken aan absolute grenzen. Dit is meestal onjuist. Een grens is in dit geval een op grond van economische of biologische argumenten bepaald cijfer, dat als redelijk moet worden beschouwd.

Een grafische voorstelling van het verband tussen zoutgehalte van het water en produktiefactor geeft in het algemeen een optimumcurve. Het zoutgrenscijfer is dan een punt niet ver van het optimum, maar een verschuiving van dit punt langs de lijn in ongunstige richting doet de produktie nog niet tot 0 dalen. In de meeste gevallen

bestaan er wel absolute maxima voor het zoutgehalte, maar daarmee zullen we ons hier niet bezighouden.

Vergeleken bij de moeilijkheden, die echter bestaan bij de vaststelling van toelaatbare grenzen bij niet-minerale verontreinigingen, ligt de zaak voor zouten toch misschien eenvoudiger, omdat

a. de Cl-bepaling eenvoudig en betrouwbaar is en een indruk kan geven over de totale hoeveelheid zouten;

b. het zoutgehalte of Cl-gehalte niet de dynamiek vertoont, die karakteristiek is voor organische verontreinigingen, zodat veranderingen veel geleidelijker optreden;

c. meer bekend is van de invloed van zouten.

INDUSTRIE

Het is niet eenvoudig om voor de industrie grenswaarden van het zoutgehalte aan te geven, ook omdat juist hier bijzondere aanpassingsmaatregelen normaal zijn.

Twee aspecten van watergebruik in de industrie zijn van zeer algemene betekenis en wel het gebruik als koelwater en als ketelwater.

Als *koelwater* worden in de praktijk alle soorten water gebruikt, tot zeewater toe. Daarbij komen twee typen van koeling voor:

a. Het z.g. „once through" systeem, waarbij het water maar één keer wordt gebruikt. Dit systeem kost veel water, maar vrijwel iedere waterkwaliteit wordt gebruikt. Men neemt daarbij de corrosie van ijzer en staal op de koop toe.
Bij gebruik van zeewater voor dit koelsysteem komen corrosiecijfers bij staal voor van 0,1 mm tot 1 cm per jaar, voornamelijk afhangend van de temperatuur die het koelwater krijgt. Beperking van corrosie wordt gevonden door bijzondere, meer corrosiebestendige materialen te gebruiken (aluminium-messing; bronssoorten) en de koelwatertemperatuur beneden 50°C te houden.
Indien zuurstofarm grondwater wordt gebruikt, zijn vooral sulfaten nadelig. Toevoeging van zuurstof gaat de werkzaamheid van sulfaatreducerende bacteriën en daarmee de corrosie tegen.

b. Het circulatiesysteem met koeltorens wordt toegepast indien water minder overvloedig beschikbaar is, het water weinig zouten bevat en wanneer veel warmte afgevoerd moet worden. De indamping van het koelwater leidt in dit geval tot toenemende hardheid, die bestreden wordt door toevoeging van zuren en tot toenemende zoutconcentratie van het koelwater, zodat op een bepaald moment spuien nodig is. Het moment van spuien wordt vastgesteld op grond van een limiet van het Cl-gehalte. Deze limiet wordt zo laag mogelijk gekozen om de corrosie van materialen zo veel mogelijk te beperken, maar hangt overigens samen met het zoutgehalte van het verkrijgbare water. Bij voorkeur moet het spuien plaats vinden beneden 1000 mg Cl per liter. Het oorspronkelijke water moet liefst beneden 300 à 400 mg Cl per liter bevatten.

Voor *ketelvoedingswater* zijn de eisen ten aanzien van het zoutgehalte hoger naarmate met hogere drukken en temperaturen gewerkt wordt. De best-beschikbare kwaliteit water zal dan ook voor ketelvoeding gereserveerd worden. In vele gevallen wordt duin- of grondwater gebruikt, dat niet meer dan 100 à 200 mg Cl bevat. In sommige gevallen is zelfs dit gehalte te hoog en vindt volledige demineralisatie plaats. Bij de hoogovens gebeurt dit met 2000 m^3 per dag. De kosten van demineralisatie nemen toe met het zoutgehalte van het water. Zo stijgen de kosten bij een verschil van 100 mg Cl (en een evenredige stijging van andere ionen) met f 0,50 per m^3. Voor de hoogovens betekent dit dus f 365 000 per jaar. Het is duidelijk, dat het aangeven van een grens hier moeilijk is, omdat demineralisatie en bijzondere ketelmaterialen, dus grotere investeringen veelal tot bevredigende oplossingen kunnen leiden. Maar bij voorkeur zal het water, dat voor ketelvoeding gebruikt wordt, toch niet meer dan 300 mg Cl moeten bevatten.

Het is zeer de vraag of in de hier omschreven gevallen het Cl-gehalte wel een goede maat is voor de aanduiding van de waterkwaliteit. Het Cl-ion moge door zijn geringe omvang meer corrosief zijn dan andere ionen, in principe oefenen andere ionen dezelfde werking uit en een bepaling van de totale zoutconcentratie naast een Cl-bepaling lijkt dus wel zeer wenselijk.

De overige industriële zorgen voor een goede waterkwaliteit zijn velerlei. Een enkele greep uit een veelheid van feiten volgt hieronder:

Stikstofbindingsindustrie: Deze industrie heeft Cl-vrij water nodig voor de bereiding van HNO_3. Men gebruikt hiervoor condenswater, eventueel aangevuld met gedemineraliseerd water.

Textielindustrie: Vergeleken met Fe en Ca, die ongewenste neerslag van kleurstoffen kunnen geven, zijn de hoeveelheden chloriden betrekkelijk onbelangrijk. Bij voorkeur moet het water minder dan 600 mg Cl bevatten om vochtaantrekking in de weefsels, die tot versnelde schimmelvorming zou kunnen leiden, te voorkomen.

De vlasindustrie krijgt moeilijkheden bij het roten van vlas, indien het Cl-gehalte boven 400 mg per liter stijgt. De bacteriëngroei wordt dan waarschijnlijk te veel geremd. Het ligt voor de hand, dat de totale zoutconcentratie hier de feitelijke nadelige factor is.

Levensmiddelenindustrie: In het algemeen is bij de behandeling van de produkten goed water nodig. Men gebruikt dan ook veelal drinkwater. Veel Ca (ca. 100 mg per liter of meer) geeft harde schalen bij conservenprodukten; Fe veroorzaakt ongewenste verkleuringen.

Een bijzondere plaats nemen de *suikerfabrieken* in. Hierbij is in de eerste plaats Na ongewenst, omdat dit ion de kristallisatie van suiker tegengaat. Men heeft gevonden, dat ieder gramatoom Na de kristallisatie van een grammolecuul suiker verhindert, zodat teveel van het produkt in de melasse terecht komt. Uit suikerrendement en melasseprodukten van de fabrieken kan men de grote afwijkingen van de kwaliteit van het gebruikte water aflezen. Redelijkerwijze zou het equivalent van 600 mg Cl

per liter water een maximumgrens moeten zijn, maar soms moet met hogere gehalten genoegen worden genomen. In extreme gevallen worden extra transportleidingen voor goed water aangelegd.

Deze summiere gegevens over enkele industrieën geven niet bepaald een zeer duidelijke aanwijzing voor een toelaatbare zoutgrens. Men zou hierbij de economie van ontsnappingsmogelijkheden door hogere investeringen tegenover die van andere vormen van zorg voor goed water moeten stellen en dit is thans niet mogelijk.

Men kan slechts zeggen, dat verscheidene industrieën gebaat zijn met water, dat niet meer dan 300 mg Cl bevat. Ook dan zijn nog wel eens extra maatregelen nodig.

Landbouw

Plantegroei

De verbruikte hoeveelheden water door planten zijn zo groot, dat het voor de landbouw, in tegenstelling tot de industrie, onmogelijk is op economische basis bijzondere zuiveringsmaatregelen te nemen. Men staat dus steeds voor de keus het aangeboden water al of niet te aanvaarden indien grenswaarden overschreden worden.

Bij de vaststelling van een grensconcentratie voor planten geldt in bijzondere mate, dat het Cl-gehalte eigenlijk een onvoldoende aanwijzing geeft. Het waterhuishoudingsregiem van de plant wordt namelijk in eerste instantie bepaald door de osmotische waarde van het substraat. Hoge osmotische waarden storen of verhinderen de wateropname door de plant. In principe zijn hierbij equivalenten van alle zouten even schadelijk.

Behalve de osmotische waarde spelen verder de aard der ionen en hun evenwichten een rol bij de plant. Niet alleen hebben bepaalde kationen of anionen een specifieke werking, maar het ongunstig effect van bijvoorbeeld natrium kan ten dele teniet gedaan worden door calcium.

Naast regelmatige bepaling van de Cl-concentratie en de totale zoutconcentratie zullen dus periodieke analyses van alle zoutcomponenten in het water, dat de plantegroei moet bevorderen, gewenst zijn.

Er is geen aanleiding de reeds lang bekende grens van 300 mg Cl voor kascultures te wijzigen. Bij hogere gehalten kan nog iets bereikt worden door verstrekking van grotere hoeveelheden water, waardoor de concentratietoename in de grond wordt afgeremd ten gevolge van uitspoeling van zout. Te ruime watervoorziening leidt echter weer gauw tot het optreden van ziekten dan wel tot een te sterke vegetatieve ontwikkeling; in beide gevallen wordt de produktie van vruchten geremd.

In bepaalde gevallen ondervinden planten zelfs nog hinder van 300 mg Cl in het gietwater.

Bij buitenculturen wordt oppervlaktewater gebruikt als verdunningsmiddel bij ziektebestrijding. Een grens van 600 mg Cl wordt hierbij aangehouden.

Maar veel belangrijker dan het gebruik van water worden voor de z.g. „aanvullende irrigatie", een vorm van zorg voor de plant, die in de humide tot semihumide gebieden van Europa en Amerika steeds grotere vormen gaat aannemen.

Voor Nederland zijn wij nog niet in staat kwantitatief of kwalitatief nauwkeurige eisen te formuleren, maar wat de kwaliteit betreft geeft deze formulering wellicht nog de minste zorgen.

De genoemde eisen voor gietwater in kassen en sproeiwater voor ziektebestrijding doen vermoeden dat oppervlaktewater, dat voor beregening wordt gebruikt, niet meer zouten zou moeten bevatten dan overeenkomt met 300 à 600 mg Cl. Ook mogelijke berekeningen, uitgaand van een vereenvoudigd schema, leiden tot een dergelijke orde van grootte.

Indien wij namelijk uitgaan van de volgende veronderstellingen:

1e. Er wordt steeds water gegeven indien de grond nog ongeveer 2/3 van de hoeveelheid water bij veldcapaciteit bevat.

2e. De hoeveelheid water per beregening is 15 mm. De hoeveelheid water in de bovenste grondlaag van 20 cm is 45 mm (bij veldcapaciteit).

3e. Er spoelt geen zout uit de bovenlaag door de zomerregens; dan zal de concentratie van het zout in de bovenste 20 cm na n × beregenen zijn:

$$C = b + \frac{n}{3}a$$

waarin:

b = de uitgangsconcentratie van het bodemvocht bij veldcapaciteit

a = de concentratie van het beregeningswater.

Een voorbeeld, waarbij b = 100 mg Cl per liter en a = 400 mg Cl per liter geeft dan na 8 × beregenen met 15 mm een concentratie van ca. 1200 mg Cl per liter bodemvocht. Dit is ca. 1900 mg NaCl of een C-cijfer van 1,9.

Indien een 9e gift nodig is, loopt de concentratie 1½ maal zo hoog op alvorens water wordt gegeven, zodat het gewas tussen 8e en 9e gift groeit bij een gemiddelde concentratie van 1500 mg Cl of een zoutcijfer van 2,4.

Voor verschillende gewassen (gras, granen, bieten) zou deze concentratie gerust nog hoger mogen oplopen zonder enige bezwaren, maar voor de meest gevoelige gewassen als erwten en bonen komen we met genoemde cijfers in de gevaarlijke zone. Een mogelijkheid om bij deze of nog hogere gehalten schade te voorkomen is uiteraard om de watergift te verhogen en te beregenen met hogere frequentie, zodat de overmaat zouten kan uitspoelen. Maar ook dan zal de zoutgrens de 600 mg zeker niet moeten overschrijden en als algemene grens voor watervoorzieningsdoeleinden van „buitencultures" kan dan ook de in het rekenvoorbeeld aangenomen 400 mg Cl aangehouden worden (bij andere gronden bestaan weer andere verhoudingen).

Het is wel waarschijnlijk, dat de zaken enigszins anders liggen indien oppervlaktewater voor infiltratie wordt aangewend. De zoutconcentratieverhoging van het bodemwater zal dan in het algemeen niet in de bouwvoor plaats vinden, maar op een dieper gelegen niveau en voorzover dit het geval is, kunnen hogere concentraties verdragen worden, zoals het zoutonderzoek in de inundatiegebieden heeft uitgewezen.

Misschien mag men in dit geval de Cl-grens leggen bij 800 à 1000 mg per liter, maar zonder risico zou een dergelijk cijfer niet zijn. Dit hangt vooral samen met de praktische omstandigheid, dat bij infiltratie wel niet te vermijden zal zijn dat plaatselijk zulke hoge grondwaterstanden toegelaten moeten worden, dat de stijging in zoutconcentratie weer voornamelijk in de bouwvoor plaats vindt. Dit brengt de limiet voor het zoutgehalte van het water, dat voor infiltratie van zoutgevoelige gewassen gebruikt wordt, weer op ongeveer 400 à 500 mg Cl per liter.

Vergelijken we ten slotte Amerikaanse gegevens met de hier genoemde cijfers, dan blijkt dat in de droge gebieden van Amerika 500 mg totaal zout per liter de grens is voor irrigatie van zoutgevoelige gewassen. Nu „supplemental irrigation" in het meer humide oosten van de U.S.A. steeds meer wordt toegepast, meent men dat daar de grens bij 1100 mg totaal zout per liter ligt.

Nemen we ter vergelijking cijfers met ongeveer gelijke gehalten, die in Nieuwe Maas en Waterweg bij Rotterdam en Maassluis kunnen optreden, dan blijkt dat bij een niveau van ca. 500 mg totaal zouten ca. 125 mg Cl aanwezig is en bij 1100 mg totaal zout ca. 400 mg Cl. Het Amerikaanse grenscijfer voor „supplemental irrigation" komt voor Nederlandse omstandigheden overeen met 400 mg Cl.

Een grenscijfer van ongeveer 400 mg Cl kan dus op verschillende manieren beredeneerd worden.

Veehouderij

Met genoemde cijfers in gedachte, lijkt het nauwelijks urgent te streven naar een nauwkeurige benadering van de zoveel hoger liggende grens voor het Cl-gehalte van drinkwater voor vee. Resultaten van proeven en praktijkwaarnemingen lopen sterk uiteen. Dit behoeft geen verwondering te wekken, gezien de sterk verschillende uitwendige omstandigheden, waaronder de dieren water opnemen, waaronder de sterke verschillen in verontreiniging van water met andere stoffen dan NaCl een grote rol spelen.

Een stalproef in de winter, waarbij aan zuiver water stijgende giften NaCl worden toegevoegd, moet a priori als niet-vergelijkbaar object beschouwd worden ten aanzien van 's zomers in de praktijk voorkomende zoutmengsels in sloten, om maar niet te spreken van mogelijk voorkomende rottingsprodukten. Het zou al een stap vooruit zijn indien verdere proeven genomen zouden worden in de zomer, waarbij de aan het drinkwater toegevoegde zouten enigszins overeenkwamen met vigerende praktijkgevallen.

De Cl-bepaling geeft in dit geval dus ook weer een onvoldoende inzicht in de waterkwaliteit, zowel omdat bepaalde zouten ($MgSO_4$) als organische stoffen een bijzondere rol kunnen spelen.

Bij gebrek aan nauwkeuriger gegevens kan wel worden gezegd dat een Cl-gehalte van 2000 à 2500 mg per liter niet schadelijk zal zijn. Houdt men anderzijds een absoluut maximum van 5000 mg Cl aan, dan stelt het traject van 2000 – 5000 mg Cl een kennishiaat voor, waarin bijmengingen van bijzondere betekenis zijn.

DRINKWATER VOOR DE MENS

Vele niet-deskundigen lopen rond met het getal van 300 mg Cl per liter als grens, waarbij de smaak van drinkwater nog geen onbehagelijke gevoelens oproept. Maar het onderzoek heeft wel duidelijk gemaakt, dat dit getal eigenlijk een te eenvoudige weergave van de werkelijkheid is. Twee wateren met gelijk Cl-gehalte behoeven zeker niet gelijkwaardig van smaak te zijn. Zo hangt de smaak van drinkwater sterk samen met het O- en CO_2-gehalte ervan. Vooral veel CO_2 heeft een overdekkend effect t.a.v. de ongunstige smaak van chloriden. Uit de andere inleidingen volgt, hoe de overige ongunstige bijmengingen natuurlijk ook van belang zijn en hoe zij het Cl-gehalte betrekkelijk onbelangrijk kunnen maken.

Beperken we ons tot de zouten, dan moet allereerst Mg genoemd worden als ion, dat een ongunstige invloed op de smaak uitoefent bij aanwezigheid van ruim SO_4. In zo'n geval moet het Mg-gehalte beneden 30 mg zijn om weinig merkbaar te zijn. Niet alleen de smaakinvloed, maar eveneens de darmprikkelende werking van $MgSO_4$ is van belang.

Bijzonder veel hangt dus af van de begeleidende stoffen. In zuiver water proeft men al iets bij 50 mg Cl, indien zuiver NaCl wordt bijgevoegd.

Deze herkenning verschuift naar 125 – 150 mg Cl indien meer zouten aanwezig zijn, wat bij natuurlijk water altijd het geval is.

De toelaatbare Cl-grens voor drinkwater is derhalve meer een opportunistische keuze, dat wil zeggen ieder land of iedere stad zal de keuze afstemmen op datgene, wat binnen economische grenzen bereikbaar is. Daarom heeft Amsterdam de grens bepaald op 125 mg Cl per liter, verschillende andere steden in Nederland op 300 mg, Europa op 350 mg, maar Israël op 600 – 800 mg en Beyrouth zelfs op 1200 mg.

Er is hierbij ook in hoge mate sprake van gewenning; een Syriër zal het Amsterdamse water bepaald flauw vinden en er wat zout bijvoegen. Het feit, dat de gewenning een zo grote rol speelt, wijst er op dat de hoogte van het zoutgehalte (binnen zekere grenzen) minder belangrijk is dan de constantheid ervan.

Het lijkt wel gewenst dieper inzicht te krijgen in de vragen, die rondom de smaakgevoeligheid bestaan, omdat weinig bekend is hoe de verschillende ionen in een zoutmengsel invloed uitoefenen, evenmin of de totale concentratie op zichzelf enig effect heeft.

CONCLUSIE

Uit de gegeven opsomming volgt wel dat aan de cijfers 300 à 400 mg Cl per liter een bijzonder belangrijke plaats toekomt als grens voor „het zoutgehalte" van oppervlaktewater. Met een maximumgrens van 300 mg is de landbouw wel tevreden en kan de industrie vooral in West-Nederland de vleugels nog voldoende uitslaan. Maar het is niet waarschijnlijk, dat de drinkwaterleiding, die gebruik maakt van oppervlaktewater, gelukkig zou zijn met een grens op dit niveau. Het ligt meer voor de hand hiervoor naar een lager Cl-gehalte te streven.

Daar komt bij, dat een grens van 300 mg Cl voor landbouw niet zodanig geïnterpreteerd mag worden, dat een grens van 300 mg Cl in het *Rijnwater* bevredigend

zou zijn. Indien immers dit water te zijner tijd gebruikt moet worden voor verversing en vulling van het Zeeuwse Meer en het IJsselmeer, dan is het duidelijk dat andere zoutbronnen in deze meren snel te hoge zoutgehalten zouden veroorzaken. Voorlopige berekeningen wijzen uit, dat het water in het Zeeuwse Meer in de toekomst alleen beneden 300 mg Cl per liter (en deze grens moet veiligheidshalve toch wel nagestreefd worden) gehouden kan worden, indien voor verversing en aanvulling Rijnwater beschikbaar is dat minder dan 200 mg Cl bevat.

Trouwens ook onder de huidige omstandigheden is een werkelijke doorspoeling van de boezems van Rijnland en Delfland nauwelijks mogelijk bij een Cl-gehalte van Rijnwater dat dicht bij 300 mg ligt.

In alle opzichten moet het dus noodzakelijk worden geacht te streven naar zoutgehalten in de Rijn, die beneden 200 mg Cl liggen.

Enkele malen is ook naar voren gekomen, dat Cl-bepalingen alleen langzamerhand niet meer voldoen als aanduiding van het zoutgehalte van water. Het zal van waarde zijn naast de reeds plaats hebbende analyses ook de meting van het totale zoutgehalte in te voeren, die eenvoudig te verwezenlijken is met een meting van het geleidingsvermogen. Aansluiting aan de Amerikaanse wijze van weergeven (in reciproke Ohms) ware wenselijk.

Bovendien is voor verschillende doeleinden een periodiek uitgevoerde analyse van alle kationen en anionen van belang. Ten gevolge van de toenemende verontreiniging van de Nederlandse hartader met industriële afvalprodukten is het waarschijnlijk dat ook de zware metalen alle aandacht verdienen.

LITERATUUR

BERG, C. VAN DEN — De inundaties gedurende 1944—1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel VI: De reactie van landbouwgewassen op het zoutgehalte van de bodem. *Versl. Landbouwk. Onderz. 56.* 16 (1950).

ENDE, J. VAN DEN — De invloed van zout gietwater op de ontwikkeling van verschillende gewassen onder glas. *Meded. Dir. Tuinbouw 15* (1952).

HEK, J. DE — Behandeling van het koelwater.

HUYGE, G. E. — Bestrijding van corrosie aan de waterzijde van koelers en condensors. (Beide in: Koelers en condensors met water als koelmiddel. Voordruk van symposium 1956 door de afd. Chem. Techn. v. h. Kon. Inst. v. Irs. en de Sectie v. Chem. Technol. en Bedrijfschem. der Kon. Ned. Chem. Vereniging).

U. S. SALINITY LABORATORY STAFF — Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils. U. S. Dept. Agric. Handbook No. 60 (1954).

DISCUSSIE

Ir. S. HERWEIJER: Is er een kritische zoutgrens, waarbij er een massale afsterving van plankton en rotting in het water gaan optreden? Rottingsprocessen in het drinkwater voor vee zijn namelijk veel funester dan zout.

ANTWOORD: (Dr. VAN HEUSDEN)

Er zijn zeer verschillende groepen plankton. Elk zoutgehalte van het water heeft als het ware zijn eigen planktongroep.

Ir. S. HERWEIJER: Indien gedurende de zomer het zoutgehalte van het Rijnwater stijgt, ontstaan er dan moeilijkheden door afsterving en rotting van plankton?

ANTWOORD: (Ir. BIEMOND)

Zoetwaterplankton kan zonder bezwaar variaties in zoutgehalte van 200, 300 of 400 mg per liter doorstaan.

Prof. W. F. J. M. KRUL: In de limnologie stelt men de grens tussen zoet en brak water op 1000 mg/l, hetgeen verband houdt met de flora.

Ir. W. C. VISSER: In aansluiting aan de vraag van ir. HERWEIJER kan worden opgemerkt, dat de praktijk schade heeft geconstateerd bij 4 à 6 g/l, terwijl literatuur en proeven de grens bij 10 à 15 g/l leggen. Men concludeerde daaruit, dat niet het zout, doch neveneffecten de schade veroorzaakten. Er werd daarbij aan afsterven van micro-organismen en het ontstaan van giftige rottingsbestanddelen gedacht. Er blijkt echter niet, dat drenken met brak nortonwater — dat vermoedelijk weinig micro-organismen bevat — andere resultaten geeft dan drenking met oppervlaktewater. Dit lijkt de genoemde veronderstelling betreffende de invloed van rottingsbestanddelen toch niet te steunen. Men zal moeten blijven zoeken naar de werkelijke oorzaak en eventuele grenscijfers trachten uit te drukken in eenheden van deze oorzaak.

Ir. S. HERWEIJER: Indien de drinkwatervoorziening de eis van 100 à 200 mg/l stelt, geschiedt dit dan uitsluitend op overwegingen van smaak van het water of wordt de gezondheid van de mens benadeeld indien hij voortdurend water met een hoog zoutgehalte drinkt?

ANTWOORD: (Ir. BIEMOND)

Bij dergelijke gehalten gaat het uitsluitend om de smaak.

Ir. A. G. WIERSMA: In aansluiting aan hetgeen ir. VISSER heeft opgemerkt, kan worden medegedeeld, dat het Ministerie van Landbouw heeft aangedrongen op sluiting van enige nortonputten in Delfland — die water van 1500 à 2000 mg Cl per liter leverden — omdat dit water niet alleen schadelijk is voor de tuinbouw, maar ook voor de veeteelt.

Prof. ir. W. F. EYSVOGEL: De inleider gaf een voorbeeld van een veelvuldig herhaalde beregening over een langere periode (8 × 15 mm). Hij meent, dat het verschil tussen ons land en een typische irrigatiestreek, nl. dat bij ons periodiek een aanzienlijke hoeveelheid regen valt, niet belangrijk is. In de U.S.A. wordt algemeen als oplossing het geven van een overmaat van water genoemd. Die oplossing vindt men in ons land in de regenval.

ANTWOORD: (Dr. VAN DEN BERG)

Inderdaad voorkomen in ons land vooral de winterregens een verhoging van de zoutconcentratie over langere tijd.

Ir. W. H. VAN DER MOLEN: In de Noordoostpolder is wel geïnfiltreerd met water met ongeveer 1500 mg Cl per liter. Het betrof hier echter bouwland met weinig-gevoelige gewassen op een grond met een geringe capillaire opstijging. In een ander gebied wordt grasland op zandgrond geïnfiltreerd met water met omstreeks 500 mg Cl per liter, zonder dat daarbij bezwaren worden ondervonden.

ANTWOORD: (Dr. VAN DEN BERG)
Bij infiltratie in zandgronden zal een vrij grote capillaire opstijging mogen worden verwacht.
De in mijn inleiding gegeven grenzen hebben betrekking op de teelt van gevoelige gewassen.

Ir. C. BIEMOND: In de Verenigde Staten wordt voor 1e klasse infiltratiewater een grens van 175 mg Cl per liter opgegeven. Geldt dit speciaal voor aride gebieden?

ANTWOORD: (Dr. VAN DEN BERG)
De meest algemene grens voor het zoutgehalte van irrigatiewater in de U.S.A. is die van het Salinity Laboratory in Riverside. Het zoutgehalte wordt daarbij gemeten als de weerstand van een elektrische stroom in een oplossing en wordt weergegeven in reciproke ohms. Regionaal (zoals b.v. in een deel van Californië) gebruikt men wel andere manieren om een grenscijfer weer te geven. Dit hangt veelal samen met regionale omstandigheden en vooral van de vraag, welk water in feite beschikbaar is.

VI. RADIOACTIVITEIT

F. W. J. VAN HAAREN

Gemeentewaterleidingen van Amsterdam

Onder radioactiviteit wordt verstaan het verschijnsel, dat kernen van bepaalde atoomsoorten spontane ontleding vertonen, waarbij energie vrijkomt en verschillende soorten straling worden uitgezonden. Voor het doel dat wij ons vandaag hebben gesteld, is het niet noodzakelijk deze definitie geheel uit te werken. Wij zullen in hetgeen volgt alleen die nadere definities en omschrijvingen geven, die voor de verdere beschouwingen van belang zijn. Allereerst zal daarom aan de hand van een voorbeeld worden gereleveerd hoe de radioactiviteit van een stof zich kan demonstreren.

Het klassieke voorbeeld, dat hiervoor meestal gebruikt wordt, is het uiteenvallen van de atoomkernen van het element radium. Het atoomgewicht van radium is 226. Door een lange reeks van ontledingsreacties komt de oorspronkelijke instabiele kern tot rust als hij een atoomgewicht van 206 heeft bereikt. Dat is de kern van een loodisotoop, vroeger wel Radium-G genoemd. Bij deze kernontledingen worden de volgende stralingen uitgezonden:

α-straling, een corpusculaire- of deeltjesstraling; zij bestaat uit snel voortvliegende dubbel positief geladen heliumatomen, dat zijn dus naakte kernen van helium;

β-straling, eveneens een corpusculaire straling; zij bestaat uit snel voortvliegende electronen;

γ-straling, elektromagnetische trillingen van zeer korte golflengte.

Als voorbeelden mogen hier volgen:

$^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + \alpha\,(^{4}He)$ $\quad$ $T\frac{1}{2}$: 1600 jaar

$^{214}Bi \rightarrow {}^{214}Po + \beta + \gamma$ $\quad$ $T\frac{1}{2}$: 20 minuten

Was vroeger radium verreweg de belangrijkste radioactieve stof, tegenwoordig is het naar kwantiteit en zo men wil ook naar kwaliteit van zijn eerste plaats verdrongen door de radioactieve produkten, die bij de kernsplijting van b.v. ^{235}U ontstaan. Hierbij kan een groot aantal elementen optreden; wij kunnen deze aangeven met behulp van het periodiek systeem waarin, zoals bekend, de elementen naar opklimmende kernlading zijn gerangschikt. De radioactieve splijtingsprodukten liggen nu tussen de nummers 30 en 62, dit zijn de elementen zink en samarium. Met de vele mogelijke isotopen van deze elementen is dit reeds een respectabel aantal. Daarnaast vormen zich bij aanwezigheid van ^{238}U zogenaamde transuranen, dat zijn elementen, die door invangen van neutronen in ^{238}U kunnen ontstaan. Het meest bekende hiervan is plutonium (^{239}Pu).

Het vraagstuk is echter nog ingewikkelder dan het nu reeds lijkt, want van de primair gevormde splijtingsprodukten zijn er vele die niet met één kernontleding tevreden zijn, maar die, evenals het radium, eerst na het doorlopen van enkele tussentrappen een stabiele kern opleveren. Bij al deze overgangen worden stralingen uit-

gezonden. Het zal dus duidelijk zijn dat het bij de splijting van een hoeveelheid ^{235}U gevormde mengsel van isotopen ook op den duur niet alleen naar zijn samenstelling gecompliceerd is, maar dat ook zijn fysisch gedrag door een uiterst ingewikkeld samenspel van reacties wordt bepaald. De radiochemici hebben door zeer fraaie en minutieuze onderzoekingen dit kluwen van reacties grotendeels kunnen ontwarren. Wij zullen ons ook hier weer beperken en niet meer geven dan een voorlopige indeling der gevormde stoffen in zoverre deze voor ons doel van belang kan zijn.

Een eerste indeling is mogelijk naar de door de betrokken isotopen uitgezonden stralingssoort. Zo zijn er α-stralers, β-stralers en γ-stralers, ieder met hun eigen energiespectrum.

Daarnaast is een tweede indeling mogelijk op grond van de z.g. fysische halveringstijd (deze wordt steeds bedoeld als zonder meer van halveringstijd wordt gesproken). Onder deze laatste verstaan wij de tijd, die moet verlopen voordat van x gram van het radioactieve element nog ½ x gram is overgebleven. Deze halveringstijden lopen zeer uiteen; bij de eerder gegeven reactieformules der kernontledingen zijn zij achter het symbool $T_{½}$ vermeld. Wij zullen straks nog gelegenheid hebben enkele getallen te noemen.

Voor ons doel is het van bijzonder belang te letten op een derde indelingscriterium, namelijk de biologische halveringstijd. Dit is de tijd, die moet verlopen, voordat van x gram radioactief isotoop, die op een bepaald tijdstip in een levend is wezen terechtkomen, ½ x gram door dit levend wezen is uitgescheiden. Een extra complicatie doet zich nog voor als een bepaald isotoop wegens zijn chemische eigenschappen in bepaalde weefsels selectief geabsorbeerd wordt. Deze cumulatieve effecten vinden wij b.v. bij jodium (^{131}J), dat zich zal ophopen in de schildklier, en bij strontium (^{89}Sr en ^{90}Sr) dat wegens zijn met die van calcium analoge chemische eigenschappen in hoofdzaak in de beenderen terecht komt. Koolstof (^{14}C) zal zich overal in het lichaam verspreid kunnen nestelen. De uitwisseling in de weefsels tegen andere, gelijksoortige, maar niet-radioactieve atomen, zal meer of minder gemakkelijk gaan afhankelijk van de fysiologische omstandigheden. Zo wisselt ^{14}C gemakkelijk uit, ^{89}Sr en ^{90}Sr doen het daarentegen slechts zeer langzaam.

Welke schade kan worden aangericht, blijkt, als wij nagaan, waarin het fysiologische effect van alle genoemde stralingen bestaat: zowel α-, β- als γ-straling veroorzaakt, hetzij direct of indirect, ionisatie in de weefsels. Bij de α-straling treedt per centimeter weglengte een zeer grote ionendichtheid op; bij de β-straling is dit minder, bij de γ-straling nog minder.

Wij zullen de reeks der ter oriëntatie gegeven definities besluiten met die van de eenheid van hoeveelheid, welke voor radioactieve stoffen is afgesproken. Zij is „curie" genoemd (symbool c) en zij is die hoeveelheid radioactief materiaal, die $3{,}7 \times 10^{10}$ kernontledingen per seconde geeft. Toegegeven moet worden, dat dit in zeker opzicht een gebrekkige eenheid is. Zij geeft wel een indruk van de snelheid van ontleding, die voor het bepaalde isotoop kenmerkend is, maar niet van de soort en van de kwaliteit der uitgezonden straling. Fysiologisch gezien is dit onderscheid echter van grote betekenis, hetgeen uit het volgende kan blijken. Laten wij eens veronderstellen, dat ten kantore de pressepapier op Uw schrijfbureau gemaakt was van radium.

Gedurende de kantooruren zoudt U daar zijn blootgesteld aan stralingen, die door dat blokje radium en zijn vervalprodukten worden uitgezonden, dus aan α-, β- en γ-straling. In deze overigens ongezonde situatie zoudt U echter van de α-straling weinig last hebben: zij zijn weinig doordringend en zij worden reeds door een laag lucht, door de kleding, door de huid tegengehouden. Anders is het met de β-straling. Deze dringt gemakkelijk door een niet te dikke laag lucht, door kleding, huid en dunne weefsellagen heen. De γ-straling is veel penetranter. Zoudt U zich daartegen willen beschermen, dan zoudt U tussen pressepapier en bureaustoel enkele dikke blokken lood moeten plaatsen. Laten wij nu veronderstellen, dat U het bij het verval van radium ontstane edele gas radon (^{222}Rn) iademt. Dit element levert althans samen met zijn vervalprodukten ook weer α-, β- en γ-straling. Nu echter moet het effect hiervan op het lichaam geheel anders worden beoordeeld.

De α-stralen, die immers weinig doordringend zijn, worden nu geheel in de omringende weefsels geabsorbeerd, en wel in een klein volume rondom de partikeltjes radioactief materiaal, die zich in de longen hebben afgezet. De β-stralen zullen eveneens voor een zeer groot deel worden geabsorbeerd, zij het dan dat hun effect over een groter volume is uitgesmeerd. De γ-stralen zullen slechts voor een klein deel worden geabsorbeerd, maar de energierijke quanten zullen, zover zij geabsorbeerd worden, plaatselijk secundaire ionisatie veroorzaken.

Betrekken wij dit alles op de radioactieve verontreiniging van drinkwater, dan zal het duidelijk zijn, dat wij, wat het effect op levende wezens betreft, in hoofdzaak op de z.g. inwendige straling, bedoeld in het laatstgegeven voorbeeld, moeten letten. Weliswaar zal het hier wel steeds gaan om zeer kleine concentraties aan radioactieve stof, maar, omdat water behoort tot de dagelijkse behoeften, zal ook een kleine concentratie wegens de reeds genoemde mogelijkheid van cumulatie een groot effect kunnen hebben. Wanneer wij dan nog weten, dat een kernreactor per kilowattdag omstreeks 1 curie aan radioactieve isotopen met lange halveringstijd produceert en dat de voor drinkwater toelaatbare concentratie van een willekeurig mengsel van radioactieve isotopen 10^{-4} microcurie per liter, dat is 10^{-10} curie per liter bedraagt (1, 2, 3), dan is met het voorafgaande het belang van het onderzoek naar de eventuele aanwezigheid van radioactieve stoffen in water wel voldoende aangetoond.

Dit voorwerp van onderzoek had dan ook reeds vroeg de belangstelling van de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam. In 1949 werd met de bestudering van het vraagstuk begonnen; in 1950 werd reeds aan de noodzaak van meting gedacht, maar het duurde tot 1952 voor hier te lande een voor ons geschikte apparatuur in de handel verkrijgbaar was.

In december 1952 werden de eerste metingen verricht en sindsdien wordt het water van de Lek bij Vreeswijk regelmatig op radioactiviteit gecontroleerd. Intussen zijn ook andere instanties begonnen met de bepaling van de radioactiviteit in oppervlaktewater. De Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Rotterdam verricht sinds enkele jaren metingen aan het water van de Nieuwe Maas; binnenkort zal het waterleidingbedrijf van de gemeente Den Haag het te infiltreren Lekwater gaan controleren. Zover ons bekend, worden metingen aan de neerslag, die dus ook voor de water-

voorziening van belang zijn, regelmatig verricht door het Medisch-Biologisch Laboratorium van de Rijksverdedigingsorganisatie T.N.O. (R.V.O.-T.N.O.) en door het K.N.M.I. te De Bilt, terwijl zowel bij het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater (R.I.Z.A.) als bij het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid (R.I.V.) plannen bestaan om metingen te gaan verrichten aan oppervlaktewater. Laatstgenoemd instituut zal zich ook met het onderzoek van grondwater bezighouden. De metingen op beide laatstgenoemde instituten en op het waterleidingbedrijf van Den Haag hebben inmiddels een aanvang genomen. Ofschoon uit een oogpunt van veiligheid de metingen aan grondwater niet direct noodzakelijk lijken, is het toch uit een oogpunt van inventarisatie gewenst om ook hier van de mogelijk naar plaats en tijd verschillende gehalten aan radioactieve stoffen op de hoogte te zijn. Overigens is het onderzoek, ook wat de methodiek betreft, nog in volle ontwikkeling en er kan worden verwacht, dat in de eerstvolgende decennia hieraan veel aandacht zal moeten worden besteed [1].

Er bestaat echter ook een theoretische mogelijkheid dat intussen de energiewinning door een beheerste kernversmelting wordt gerealiseerd (4). Dit zou, ook gezien van het standpunt van waterverontreiniging, een enorm voordeel zijn, daar bij dit proces niet die grote hoeveelheden radioactieve afvalstoffen vrijkomen die bij de kernsplijting ontstaan.

Er zal echter nog geruime tijd moeten verlopen, voordat dit proces tot een technisch bruikbaar procédé is ontwikkeld, zodat er op gerekend moet worden, dat in de eerste periode van de opwekking van kernenergie gebruik gemaakt zal worden van de kernsplijting. Een belangrijke aanwijzing in deze richting ligt in het investeringsplan voor kernreactoren van Groot Brittannië. Daar zullen in de eerstvolgende jaren een tiental grote reactoren worden gebouwd, die alle gebaseerd zijn op het klassieke splijtingsproces (5) [2].

Gelukkig behoefde in 1952 nog nauwelijks aan regelmatig voorkomende kunstmatige radioactieve verontreiniging van het Rijnwater te worden gedacht. De gevonden resultaten konden dus worden gebruikt als basisgegevens voor de in dit opzicht niet-verontreinigde rivier. Er kon worden verwacht, dat ook de van nature aanwezige radioactiviteit, die bijvoorbeeld afkomstig kan zijn van ^{40}K, een zekere fluctuatie zou vertonen, zodat om later een kleine verontreiniging te kunnen herkennen, de normale fluctuatiebreedte bekend moest zijn. Uit de metingen bleek al spoedig dat deze vrij gering was en dat het normale niveau lag bij omstreeks 10^{-5} microcurie per liter, dat is dus slechts 10% van de toelaatbare concentratie voor een willekeurig mengsel van isotopen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de maximaal toelaatbare concentratie van 10^{-4} microcurie per liter ook als eis wordt gesteld voor ruw water, dus voor de grondstof, die voor de drinkwaterbereiding wordt gebruikt, dit wegens het nog niet voldoende bekend zijn van de invloed die verschillende wijzen van zuivering hebben op de radiochemische samenstelling van het water (6, 7, 8).

---

[1] Zie ook: Aanhangsel tot het Verslag van de Handelingen der Tweede Kamer Deel I; Zitting 1956—1957, no. 16 p. 31—32.

[2] Sinds kort bestaat het plan een twintigtal reactoren te bouwen.

Uit het voorgaande zal het duidelijk zijn geworden, dat bij een onbekend mengsel rekening moet worden gehouden met de kwaadste kansen en dat de norm hiervoor dus strenger zal zijn dan voor sommige in het mengsel voorkomende isotopen vereist is, maar omdat het hier gaat om de biologische veiligheid in de ruimste zin des woords is het begrijpelijk, dat zeer stringente eisen worden gesteld. Zij zijn, zowel voor mengsels als voor afzonderlijke isotopen, neergelegd in verschillende officiële publikaties waarvan de bekendste zijn het „Handbook 52" van het N.B.S., U.S.A. (1953) en de „Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", gepubliceerd door het British Institute of Radiology (1955).

Voor de praktijk van de watercontrole zijn vooral van betekenis de toelaatbare concentraties voor willekeurige mengsels van isotopen, en wel omdat in een radioactief-besmet water zeer waarschijnlijk steeds een isotopenmengsel van tevoren niet bekende samenstelling zal voorkomen. Zelfs al was de oorspronkelijke samenstelling wel bekend, dan zou zij toch door allerlei oorzaken in de loop van de tijd veranderen, zodat voor een volledig gedetailleerde beoordeling een tijdrovende radiochemische analyse noodzakelijk zou zijn. De resultaten hiervan zullen dikwijls te laat bekend zijn om tijdig de nodige maatregelen te kunnen nemen. Een andere moeilijkheid doet zich voor bij de eigenlijke meting van de radioactiviteit. De indampresidu's van de te onderzoeken monsters worden tot nu toe meestal doorgemeten met behulp van een Geiger-Müller buis. Dit apparaat is eigenlijk het meest geschikt voor de meting van niet te zwakke β-straling. De γ-straling wordt slechts voor een klein deel bepaald, de α-straling, bij een niet zeer dun venster van de buis, al niet veel beter. Wij komen hierop aanstonds nog nader terug.

Wat betreft de stand van het onderzoek aangaande de opneming van radioactieve stoffen door levende wezens kan aan de hand van enkele voorbeelden het volgende worden medegedeeld

De selectieve absorptie van isotopen in bepaalde weefsels is reeds eerder gememoreerd. Het spreekt vanzelf, dat sporenelementen, waarnaar onder sommige omstandigheden een zeer grote honger bestaat, in radioactieve vorm ook in kleine concentratie veel kwaad kunnen doen, daar zij enorm sterk in de weefsels worden geconcentreerd. Dit kan in de landbouw en indirect dus ook voor de voedselvoorziening van mens en dier onaangename gevolgen hebben. Als voorbeeld zou men kunnen denken aan cesium (^{137}Cs), dat in de plant op analoge wijze als het kalium kan worden opgenomen. Zijn lange halveringstijd (33 jaar) maakt het in principe zeer gevaarlijk, maar het is mij niet bekend of het wellicht in de plant snel wordt uitgewisseld. Wel is bekend, dat een overmaat kalium het cesium gemakkelijk kan verdringen. De voor de planten gevaarlijkste isotopen zijn waarschijnlijk ^{89}Sr en ^{90}Sr. Gelukkig is er in de meeste wateren en gronden een grote overmaat van het concurrerende element calcium aanwezig. Merkwaardig is de sterke opneming van allerlei radioactieve isotopen door algen, die blijkbaar van de straling niet veel last ondervinden. Er is wel gesuggereerd en in U.S.A. zelfs geprobeerd deze algen voor de zuivering van radioactief afvalwater te gebruiken (9). In de laboratoria voor Plantenfysiologie en voor Landbouwscheikunde van de Landbouwhogeschool te Wageningen wordt op deze gebieden reeds onderzoek verricht.

Ook met betrekking tot mens en dier moet in het bijzonder worden gewezen op de beide reeds genoemde strontiumisotopen. Dit zijn β-stralers met halveringstijden van respectievelijk 53 dagen en 25 jaar. Er zijn lagere dieren waarbij strontium een normale component van het „skelet" is (10). Bij de hogere dieren die een beenderstelsel bezitten, zal het strontium samen met het calcium worden opgenomen in het beenweefsel. Daar zal het moeilijk worden uitgewisseld en aangezien zich in platte beenderen bloedvormende organen bevinden, zullen o.a. deze door de straling ongunstig worden beïnvloed. Aangezien een abnormale verandering van de samenstelling van het bloed toch reeds een van de stralingseffecten is, en de kans op uitwisseling klein en de halveringstijd speciaal voor ^{90}Sr groot is, moet het radioactief strontium als zeer gevaarlijk worden beschouwd. De toelaatbare concentratie voor ^{90}Sr bedraagt dan ook slechts 8×10^{-4} microcurie per liter. Dan moet ook hier weer ^{137}Cs worden genoemd; het kritisch orgaan voor dit isotoop is het spierstelsel.

Ten slotte moet worden vermeld, dat zich een keten van cumulaties kan voordoen. Plankton, dat in radioactief verontreinigd water leeft, kan radioactief materiaal door adsorptie, maar vooral door zijn metabolisme concentreren (11). Vissen, die dit plankton als voedsel gebruiken, zullen op hun beurt dit materiaal ophopen. Indien de mens deze vis eet, zal door selectieve absorptie in bepaalde organen opnieuw concentratie kunnen plaats vinden. Bekend is dat door dit effect de lozingscapaciteit voor radioactief afvalwater in de Ierse Zee van de Engelse Windscale Works, waar in grote reactoren plutonium wordt geproduceerd, wordt beperkt.

Dat ook op industrieel gebied een radioactieve besmetting van water bezwaren kan opleveren, spreekt vanzelf. Als voorbeelden zouden kunnen worden genoemd de levensmiddelenindustrie en de industrie die voor fotografische doeleinden lichtgevoelig materiaal produceert. Deze laatste heeft die bezwaren, zij het dan langs de weg van de luchtverontreiniging, reeds in de praktijk ondervonden. Zowel in U.S.A. als, meer recent, in België is volgens persberichten gebleken, dat na proefexplosies ergens ter wereld van atoomwapenen de atmosfeer zodanig verontreinigd kan zijn met radioactief materiaal, dat de hiervoor zeer gevoelige fotografische emulsies merkbaar worden aangetast. Zo werd in november 1955 een gehele dagproduktie van de N.V. Gevaert te Oude God bij Antwerpen bedorven.

De desiderata op dit gebied van onderzoek zijn zo groot in aantal en zo ver reikend, dat behandeling ervan een afzonderlijke voordracht zou eisen. Enkele punten zullen hier kort worden aangeduid.

Allereerst moet gezocht worden naar een *eenvoudig meetinstrument* waarmede zeer lage concentraties aan radioactieve stoffen in stromende vloeistoffen continu kunnen worden gemeten. Dit ogenschijnlijk eenvoudige probleem is, ondanks naarstig werken door verschillende laboratoria, voor zover ons bekend, nog steeds niet opgelost.

Vervolgens zal moeten worden ontwikkeld een *niet te dure scintillatieteller* met een goede opnemer voor het tellen van α-deeltjes, die liefst voor direct wateronderzoek geschikt moet zijn. Dit zou een welkome aanvulling vormen op de nu gebruikelijke, in hoofdzaak β-straling metende G.M.-apparatuur. Dit is te meer noodzakelijk omdat in de toekomst het gevaar bestaat dat plutonium tot de mogelijke radioactieve ver-

ontreinigingen gaat behoren. Plutonium is een gevaarlijke α-straler met een halveringstijd van 24 000 jaar (kritisch orgaan: beenderstelsel).

Wegens het uitzonderlijke gevaar dat ^{90}Sr oplevert, zal geprobeerd moeten worden een *snelle en eenvoudige analysemethode* uit te werken om dit isotoop, ook in zeer kleine concentratie, afzonderlijk te bepalen. Het laboratorium van het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek en het laboratorium der Gemeentewaterleidingen trachten hiervoor gezamenlijk een oplossing te vinden.

Vermeld moeten nog worden de voortzetting van het onderzoek naar de mogelijkheid van de zuivering van radioactief verontreinigd water voor geval van nood, welk onderzoek reeds in vele laboratoria, o.a. ook hier te lande, wordt verricht; op biologisch terrein ligt het vraagstuk van de genetische effecten van de radioactieve straling. Van het tijdig doorgronden van deze laatstgenoemde verschijnselen kan het voortbestaan van het menselijk geslacht afhangen. Zou de produktie van radioactieve afvalstoffen bij de winning van kernenergie op werkelijk grote schaal gedurende lange tijd plaats vinden, dan is dit het vraagstuk, dat voor alles om een oplossing vraagt.

Lagen de tot nu toe genoemde desiderata voornamelijk in het wetenschappelijke vlak, voor de praktijk is daarnaast van groot belang hetgeen zich in de organisatorische sector afspeelt. Na het waarom vraagt men hoe, en waar? Voor de beantwoording van deze vragen is het nodig belangensferen af te bakenen. Wat het oppervlaktewater betreft is dat voor ons land betrekkelijk eenvoudig: de voornaamste leveranciers van zoet water zijn de neerslag en de Rijn. Het zou langs organisatorische weg mogelijk moeten zijn te zorgen dat de neerslag vrij blijft van radioactieve verontreinigingen, maar de behandeling hiervan valt ver buiten ons vermogen en ons bestek. Het zelfde geldt, zij het misschien in mindere mate, voor de Rijn. Moeten wij ons daarom ook in gedachten beperken tot de bestaande controleposten, eventueel uitgebreid met een laboratorium te Lobith omdat daar de Rijn in ons land komt? Zulk een laboratorium c.q. waarnemingspunt zou in het huidige bestel zeker goede diensten kunnen bewijzen, maar de keuze van de plaats voor deze „Wacht am Rhein" is zuiver accidenteel. Als bij Lobith niet de rijksgrens de Rijn kruiste zou niemand er aan denken daar een laboratorium op te richten. Logischer ware het de rivier in van nature gegeven vakken te verdelen, een verdeling, die door de mondingspunten van de belangrijkste zijrivieren wordt bepaald. Het zal U dan opvallen dat dan tevens telkens belangrijke industriële gebieden worden afgegrensd; deze immers zijn, zij het in afgeleide zin, van nature daar ontstaan. Daarom zouden Basel, Straatsburg, Mannheim, Mainz, Koblenz, Duisburg en Wesel dè aangewezen controleposten zijn. Er bestaan verscheidene, ook internationale, commissies die zich uit verschillend oogpunt met de Rijn bezighouden. Het is ons bekend, dat in sommige van deze commissies de radioactieve verontreiniging van het Rijnwater de aandacht heeft. Laten wij de hoop uitspreken dat de tijd rijp is om een ruimere organisatievorm van het onderzoek onder het oog te zien.

LITERATUUR

1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Br. J. Radiol.*, Suppl. No. 6, 1955.
2. Maximum Permissible Amounts of Radioisotopes in the Human Body and Maximum Permissible Concentrations in Air and Water. National Bureau of Standards (U.S.A.); Handbook 52 (1953).
3. *Acta Radiol. 41* (1954) 30.
4. *Ingenieur 67* (1955) A 376.
5. White Paper. A program of nuclear power. Cmd 9389 H.M.S.O. London 1955.
6. *J. Am. Water Works Ass. 46* (1954) 973.
7. *Ind. Eng. Chem. 46* (1954) 1061.
8. *Atomics & Atomic Techn. 5* (1954) 133.
9. *Sew. Ind. Wastes 27* (1955) 941.
10. K. SCHARRER, Biochemie der Spurenelemente, Berlin 1941.
11. Int. Conf. Peaceful Uses At. En., Paper 281 (Genève 1955).
12. Int. Conf. Peaceful Uses At. En., Paper 418, 419, 420 (Genève 1955).

VII. RISICO'S

L. HUISMAN

Gemeentewaterleidingen van Amsterdam

De betekenis van het begrip risico's aan het gebruik van oppervlaktewater verbonden, kan wellicht het eenvoudigst duidelijk worden gemaakt met een kort bericht van het persbureau Lorraine van 8 januari 1956:

Le 7 janvier 1956, près de Nancy, une digue de 30 mètres de hauteur, fermant un bassin de décantation de 12 hectares, se rompt et des milliers de tonnes de produits chimiques se déversent dans la Meurthe; des dizaines de tonnes de poissons périssent, la Moselle et la Meurthe sont dépeuplées sur près de 50 km. Plus de 50 millions de dégâts.

Het is nu eenmaal zo, dat het oppervlaktewater in ons land, zoals dit wordt gebruikt voor landbouw en veeteelt, voor industriële doeleinden en voor de openbare watervoorziening, voor visserij, recreatie en sport, van verschillende zijden blootgesteld is aan verontreiniging. Deze verontreiniging kan zijn van *bacteriologische* aard door de lozing van ongereinigd rioolwater, van *biologische* aard door een massale groei van plankton op de geloosde afvalstoffen als voedingsbodem, van *organische* aard, van *chemische* aard, voornamelijk door industriële lozingen, terwijl sinds enkele jaren ook nog de mogelijkheid van een radioactieve besmetting van het oppervlaktewater bestaat. Voor de moderne samenleving is het eenvoudig een kwestie van lijfsbehoud om aan deze lozingen paal en perk te stellen en te zorgen, dat de voor haar voortbestaan onmisbare grondstof water in voldoende kwaliteit ter beschikking blijft. Welke de toelaatbare grenzen zijn van het gehalte aan chloorionen, aan organische stof, aan bacteriën, aan plankton en aan radioactieve verontreiniging, is in de voorgaande artikelen reeds aangegeven.

Aannemende, dat inderdaad niet meer afvalstoffen worden geloosd dan met het oog op een verder gebruik van het water toelaatbaar is, bestaat toch altijd nog het risico, dat gedurende kortere of langere tijd de gestelde grenzen worden overschreden. Ten aanzien van deze risico's zouden twee categorieën kunnen worden onderscheiden, enerzijds de regelmatig terugkerende risico's van een abnormaal droge zomer, van een abnormaal strenge winter en dergelijke en anderzijds de plotseling optredende risico's van een calamiteit. Als voorbeeld van een regelmatig terugkerend risico zou kunnen worden genoemd de Cl′-lozing op de Moezel. Uit de produktiecijfers volgt, dat door de soda-industrie in het Département Meurthe-et-Moselle op de Moezel wordt geloosd een hoeveelheid van 15 kg Cl′/sec; hierbij komen nog andere industriële lozingen en vooral een zeer belangrijke natuurlijke Cl′-afvoer, welke het totaal brengen op rond 25 kg/sec. Voor de gemiddelde afvoer van 250 m^3/sec. zou dit neerkomen op een Cl′-gehalte van het Moezelwater van 100 mg/l, een zeer acceptabele waarde. In droge tijden daalt de afvoer van de Moezel echter tot 50 m^3/sec. en lager, waardoor Cl′-gehalten van maar liefst 500 mg/l en hoger optreden. Een zelfde probleem doet zich voor bij de Rijn, waar eveneens bij lage afvoeren het door industrieën,

mijnen, stedelijke rioleringen enz. geloosde chloor slechts in een geringe hoeveelheid water wordt opgelost, terwijl anderzijds juist door deze lage afvoeren het zeewater verder ons land binnendringt en ook van deze kant allerlei inlaatpunten met verzilting bedreigt. Als voorbeeld van een calamiteit zou in herinnering kunnen worden gebracht, hoe enkele jaren geleden door een vergissing in de plaatsing der afsluiters enkele duizenden kilogrammen van een zeer giftige stof op een zijrivier van de Rijn werden geloosd, waarvan een enorme vissterfte het gevolg was en duizenden dode vissen, waaronder zalmen van 30 pond, langs de Nederlandse Rijnoevers aanspoelden.

De regelmatig terugkerende risico's zijn aan de wetten van de kansberekening onderworpen en kunnen zo tot op zekere hoogte nog in onze beschouwingen worden betrokken. In Rapport 1948 betreffende de watervoorziening van Amsterdam is b.v. de berekening van het door menging van duinwater en geïnfiltreerd rivierwater verkregen Cl'-gehalte van het af te leveren drinkwater gebaseerd op een lage afvoer van de Nederrijn, welke gemiddeld slechts 1 maal in de 500 jaar voorkomt. Weliswaar is het mogelijk, dat volgend jaar een nog lagere afvoer optreedt of dat dit de komende 10 jaar b.v. 3 keer het geval zal zijn, maar de kans hierop wordt toch wel zeer gering. Aan de andere kant betreffen de regelmatige terugkerende risico's min of meer bekende gevallen, waartegen afweermaatregelen mogelijk zijn. Zo kunnen de aan de lage afvoer van de Rijn verbonden bezwaren ook worden ondervangen door in het stroomgebied van deze rivier stuwbekkens aan te leggen, waarmede de lage afvoeren kunnen worden verhoogd, is het mogelijk de bezwaren van een laag zuurstofgehalte van water, dat onder een gesloten ijsdek wordt onttrokken, met geschikte aëratiewerken teniet te doen, de hiermede samengaande smaakbezwaren door een dosering met actieve kool op te vangen enz.

Geheel anders ligt dit probleem met de calamiteiten. Deze onttrekken zich geheel aan onze beschouwingen. Wie garandeert, dat niet morgen een schip geladen met één of andere sterk verontreinigende stof op de Rijn wordt aangevaren en lek stoot en zijn lading in het water ziet verdwijnen, of de een of andere fabriek een nog onbekende smaakstof van ongekende intensiteit op de Rijn loost? Wie kan de drinkwaterbedrijven met aan verontreiniging blootgesteld oppervlaktewater de geruststelling geven, dat niet plotseling het bacteriëngehalte van het ruwe water b.v. een factor 1000 of meer stijgt, waardoor ook het bacteriëngehalte van het afgeleverde water gedurende korte tijd vóór het in werking stellen der chloreertoestellen e.d. een stijging zou kunnen ondergaan en dan wellicht boven de toelaatbare grens zou komen. Dit alles klemt juist temeer, waar het oppervlaktewater voor ons land van het overgrote deel van buiten de landsgrenzen afkomstig is. Nederland heeft een oppervlak van ruim 30 000 km², tegenover een oppervlak van het stroomgebied van de Maas van rond 20 000 km² en van het stroomgebied van de Rijn van bijna 200 000 km². De hoeveelheid water, welke de Rijn te Lobith ons land binnenvoert van gemiddeld 2200 m³/sec. of per jaar 70 000 miljoen m³, is dus bijna 7 maal zo groot als van de regen aan de watervoorraad in ons land ten goede komt. Het beschikbare oppervlaktewater in ons land is dus in feite het water van de Rijn, maar het stroomgebied van deze rivier is geen maagdelijk gebied, doch hierin wonen 20 miljoen mensen waarvan de afvalstoffen op de één of andere manier op de rivier worden geloosd,

en hierin zijn machtige industriecomplexen aanwezig, in Elzas-Lotharingen, in de Saar, in Baden, langs de Main, in het Roergebied enz. Talloze fabrieken, mijnen e.d. lozen hun afvalstoffen op de rivier, lozingen, welke zich aan onze rechtstreekse controle onttrekken en waaraan nog onbekende risico's verbonden zijn en, welke veiligheidsmaatregelen ook worden genomen, steeds aan verbonden zullen blijven.

Inherent verbonden aan het gebruik van oppervlaktewater, dat aan de mogelijkheid van verontreiniging is blootgesteld, is dus het aanvaarden van het risico, dat op een zeker ogenblik deze verontreinigingen te grote afmetingen aannemen en het water voor kortere of langere tijd onbruikbaar wordt voor het gestelde doel. Ongetwijfeld kunnen zowel door voorzorgsmaatregelen bij de bron van verontreiniging als door veiligheidsmaatregelen voor het gebruik, door filtratie, coagulatie enz. deze risico's worden verminderd, echter nimmer geheel worden ondervangen.

Voor absolute veiligheid zal naast deze voorziening met oppervlaktewater een reserve aanwezig moeten zijn. Of deze absolute veiligheid echter noodzakelijk en mogelijk is, hangt af van het doel, waarvoor het water zal worden gebruikt.

De *openbare drinkwatervoorziening* moet onder alle omstandigheden ononderbroken voortgang vinden en zal een reserve tegen de risico's, verbonden aan het gebruik van mogelijk besmet oppervlaktewater, dan ook niet kunnen missen. Deze reserve kan zijn een reserve-winplaats, zoals b.v. de waterwinning te Ligny in België, welke overigens door de Brusselse Waterleiding voor een ander doel is gesticht, nl. voor het opvangen van de topverbruiken in de zomer, dan wel een reservevoorraad water. Als voorbeeld van het laatste kan worden genoemd de nieuwe watervoorziening van Amsterdam, waarbij het te Jutfaas aan het Lekkanaal onttrokken rivierwater niet rechtstreeks naar Amsterdam wordt gevoerd, doch via een omweg over de duinen nabij Vogelenzang. Deze omweg maakt het mogelijk in de duinen een reservevoorraad gemakkelijk winbaar water te vormen, waarop in noodgevallen kan worden teruggevallen en waarmede het mogelijk is de onttrekking aan de rivier zonodig maandenlang te staken.

Een ander uiterste ten aanzien van het vormen van een reserve tegen risico's wordt gevormd door de belangen van *visserij, recreatie* en *sport*. Deze gebruiken het water in de natuurlijke staat en hebben voorts zoveel water nodig en kunnen maar zo weinig kosten dragen, dat hiervoor een reserve niet wel mogelijk is.

Bij de *industriële watervoorziening* ligt het vraagstuk moeilijker. De zwart-wit tegenstelling van de beide voorgaande gevallen is hier veelal niet aanwezig en of een reserve toegepast zal worden of niet hangt dan ook geval voor geval af van de verhouding van de factor noodzaak tot die van technische en economische mogelijkheid. De noodzaak van een reserve is niet zo groot als misschien op het eerste gezicht wet zou lijken. De industrieën welke hoge eisen aan de kwaliteit van het water moeten stellen, zoals b.v. de levensmiddelenindustrie, zullen immers in het algemeen hun water onttrekken aan het openbare net, dan wel grondwater winnen en in beide gevallen geen risico's voor een te grote verontreiniging van het oppervlaktewater behoeven te duchten. Aan de andere kant liggen de industrieën, welke slechts zeer lage eisen aan het water behoeven te stellen en/of zoveel water gebruiken, dat een reserve technisch en financieel toch niet mogelijk is. Zo is voor de produktie van 1 kWh

gemiddeld nodig bijna 0,5 m^3 water, terwijl deze kWh af centrale maar enkele centen mag kosten. Tussen deze beide uitersten in ligt een heel gamma van industrieën, welke enerzijds met tot op zekere hoogte verontreinigd oppervlaktewater kunnen volstaan, anderzijds toch zekere eisen moeten blijven stellen. De papierindustrie b.v. gebruikt oppervlaktewater, vaak behoorlijk verontreinigd, maar wanneer dit water reukstoffen bevat, dan is het ongeschikt voor de vervaardiging van papier voor verpakking van levensmiddelen, bevat het gekleurd slib, dan is het hiermede vervaardigde papier niet wit meer, is het Cl'-gehalte te hoog, hoger dan 400 mg/l, dan wordt het messing weefsel, waarop de papierpap wordt gedroogd, aangetast, is het water verontreinigd met stookolie of teer, dan verstoppen de filters, enz. De Kon. Papierfabrieken van Gelder en Zonen N.V. te Velsen, welke in de toekomst rivierwater van de N.V. Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland gaan betrekken, zullen voor het risico van te sterke verontreiniging van dit water dan ook over een noodvoorziening kunnen beschikken.

Het bovengegeven voorbeeld uit de papierindustrie zou met voorbeelden uit verschillende andere industrieën kunnen worden aangevuld. Speciaal het Cl'-gehalte vormt in vele gevallen de bepalende grens van de bruikbaarheid. Vooral bij hogere temperaturen, zoals b.v. bij de staalfabrikage optreden, is water met een hoger Cl'-gehalte agressief, zelfs zo sterk, dat bij 100°C roestvrij staal in kwaliteit 18-8-2 reeds bij 100 mg/l Cl' niet meer roestvrij is en bij 200 mg/l Cl' al behoorlijk wordt aangetast. Over de hoeveelheid oppervlaktewater, welke in Nederland voor industriële doeleinden wordt gebruikt, staan maar weinig gegevens ter beschikking; welk deel hiervan over een reserve tegen het risico van te sterke verontreiniging moet kunnen beschikken is evenmin bekend. Wordt deze hoeveelheid zeer voorlopig gesteld op 100 miljoen m^3/jaar, dat wil zeggen van dezelfde grootte als de oppervlaktewateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening, dan behoort een reserve tegen risico's, zoals hieronder zal worden aangetoond, tot de technisch en financieel realiseerbare mogelijkheden.

Dit laatste punt, de technische en financiële mogelijkheid voor het scheppen van een reserve tegen risico's vormt bij de landbouw juist het grote struikelblok.

De technische moeilijkheid is gelegen in de veel en veel grotere hoeveelheden water, welke de landbouw nodig heeft. Werd de hoeveelheid oppervlaktewater voor openbare drinkwatervoorziening en industriële doeleinden hierboven gesteld op elk 100 miljoen m^3/jaar, de landbouw vraagt een waterschijf van 0,2 m dikte voor een gebied van 5000 km^2, d.w.z. een hoeveelheid van 1000 miljoen m^3/jaar of 10 maal zoveel. Deze hoeveelheid wordt bovendien niet gelijkmatig over het gehele jaar verdeeld afgenomen, doch geconcentreerd in enkele maanden. Dit betekent, dat een reserve tegen risico's vrijwel de volle hoeveelheid van 1000 miljoen m^3 moet omvatten. Deze hoeveelheid is zo groot, dat hiervoor alleen open storage en dan nog slechts in de allergrootste bekkens in aanmerking komt. Zelfs op het IJsselmeer betekent een hoeveelheid van 1000 miljoen m^3 een waterschijf van 0,3 m dikte nu en in de toekomst, na het gereedkomen der zuidelijke inpolderingen, een schijf van 0,8 m, met alle bezwaren aan een dergelijke grote peilvariatie verbonden. Een storage ten behoeve van alleen het westen des lands van b.v. 200 miljoen m^3 in de meren en plassen van het

Noord-Zuidhollandse en Utrechtse polderland zou overeen komen met een peilvariatie van 2 m en is dus zonder meer onmogelijk.

De financiële moeilijkheid is gelegen in de omstandigheid, dat de landbouw voor het opvangen van deze risico's slechts bijzonder weinig kosten kan dragen. Hoeveel dit nu precies is valt moeilijk te zeggen. Om de orde van grootte van dit bedrag te bepalen, zou kunnen worden uitgegaan van de opbrengstvermeerdering, welke met een goede watervoorziening kan worden verkregen. Deze bedraagt 15 à 20%, stel f 150,— per ha per jaar. Zou nu gemiddeld 1 maal in de 10 jaar door tijdelijk minder bruikbaar water deze opbrengstvermeerdering met 1/3 terugvallen, d.w.z. met gemiddeld f 5,—/ha/jaar, dan zou b.v. de helft van dit bedrag of f 2,50/ha/jaar als premie voor een verzekering tegen het risico van tijdelijk onbruikbaar water beschikbaar kunnen worden gesteld. Gekapitaliseerd komt deze premie overeen met een bedrag van bijna f 60,—/ha, hetgeen voor een hoeveelheid van 2000 m^3/ha overeenkomt met een toelaatbaar bedrag aan kosten van 3 cent per m^3 storage-inhoud. Ter vergelijking diene, dat in Duitsland van de aanleg van stuwmeren wordt gerekend op een bedrag van f 1,— per m^3 inhoud, 30 maal zo hoog!

Gelukkig is aan de andere kant de noodzaak van het vormen van een reserve voor de landbouw niet zo groot. Enerzijds is dit een gevolg van de omstandigheid, dat zonder de kans op betekenende schade te lopen de waterinlaat voor de landbouw enige tijd kan worden gestaakt. Hoe lang deze periode mag zijn hangt van tal van factoren af, van grondgesteldheid, tijd van het jaar, regenval enz., maar bedraagt zelfs onder de ongunstigste omstandigheden toch al gauw enkele weken, waardoor kortdurende verontreinigingen van het water geen nadelige invloed behoeven te hebben.

Aan de andere kant worden door de landbouw aan de kwaliteit van het water slechts zeer geringe eisen gesteld. Organische stof en ammoniak b.v., die voor de drinkwaterbereiding bezwaarlijk zijn, leveren voor de landbouw weinig moeilijkheden op. Een uitzondering moet worden gemaakt voor de tuinbouw ten aanzien van het Cl'-gehalte. In het droge jaar 1947 is door het hoge Cl'-gehalte van het boezemwater in het Westland een schade van enkele miljoenen guldens veroorzaakt en zijn verschillende tuinders er toe over gegaan om door het slaan van bronnen een eigen reserve tegen dit risico te vormen. Dergelijke omstandigheden komen echter slechts op zeer beperkte schaal voor, waar gevoelige produkten met hoge opbrengsten worden verbouwd.

Voor het opvangen van de risico's, aan het gebruik van verontreinigd oppervlaktewater verbonden, kan in principe gebruik worden gemaakt van een *reserwinplaats* of van een *reservevoorraad.* Winplaatsen van goed water met enige capaciteit zijn in ons land schaars en in het algemeen zal de reserve tegen risico's dan ook uit voorraadbassins moeten bestaan. Hoe en waar deze bassins moeten worden gemaakt hangt af van de eisen van veiligheid, capaciteit en toelaatbare kosten en zal van geval tot geval op andere wijze worden opgelost. Drinkwatervoorziening en verschillende industrieën, hebben slechts beperkte hoeveelheden water nodig, stellen hoge eisen aan de veiligheid en zijn in staat kosten te dragen. Hiervoor kan dan ook worden gewerkt met verspreide reserves, ter plaatse van het gebruik en met het oog op de veiligheid bij voorkeur ondergronds. Als voorbeeld van een reserve voor een drink-

watervoorziening is reeds genoemd de storage in de Amsterdamse Waterleidingduinen nabij Vogelenzang. Eenzelfde storage zou kunnen worden gemaakt in de duinen ten zuiden van het Noordzeekanaal ten behoeve van de gezamenlijke industrie in de IJ-mond. Bij een waterverbruik van b.v. 20 miljoen m^3/jaar is voor een reserve van 6 maanden een berging van 10 miljoen m^3 nodig, waarvoor bij dieptewaterwinning met een duinterrein van ongeveer 20 km^2 kan worden volstaan. De aan de storage verbonden kosten bedragen dan orde van grootte 50 cent per m^3 inhoud, waardoor de prijs van het water met 1 cent per m^3 zou stijgen, geen onoverkomelijk bedrag. Niet alleen in de duinen, maar b.v. ook in het Oosten van het land zijn dergelijke bodemreservoirs mogelijk. Open storage in nieuw te graven bekkens behoort in ons dichtbevolkte land tot de onmogelijkheden; wel kunnen bestaande meren en plassen, boezems e.d. hiervoor door geëigende maatregelen geschikt worden gemaakt.

Voor de landbouw lag door de veel grotere en bovendien in enkele maanden geconcentreerde waterbehoefte en door het geringe vermogen om kosten te dragen, het probleem van de reserve veel moeilijker. Hiervoor komt eigenlijk alleen in aanmerking storage ter plaatse in de bodem en open storage in IJsselmeer en de toekomstige Zeeuwse meren. Als voorbeeld van een storage in de bodem kan worden genoemd Californië, waar verschillende projecten in voorbereiding en uitvoering zijn om met behulp van kunstmatige infiltratie een grote grondwatervoorraad te vormen. Ook voor de normale watervoorziening van de landbouw zijn aan deze methode grote voordelen verbonden. Het water behoeft niet bij elke verbruiker te worden gebracht, doch wordt op enkele plaatsen geïnfiltreerd, waarna uit de gevormde voorraad door iedere verbruiker naar believen kan worden geput. In de Central Valley kan op deze wijze een hoeveelheid van 150 000 miljoen m^3 worden geborgen, 4-maal zoveel als in stuwbekkens mogelijk zou zijn. In ons land met zijn zoveel hogere grondwaterstand zijn dergelijke hoeveelheden onbereikbaar; in het oosten van het land kan deze methode, zij het op bescheidener schaal, echter wel degelijk worden gerealiseerd. Aan open storage in IJsselmeer en Zeeuwse meren kan een grotere capaciteit worden gegeven, welke slechts wordt begrensd door de belangen van derden, welke bij te grote peilvariatie zouden worden geschaad.

Orde van grootte kan op het huidige IJsselmeer worden geborgen een hoeveelheid van 600 miljoen m^3, na het gereedkomen der zuidelijke polders met de dan hogere toelaatbare zomerstand ongeveer hetzelfde bedrag. Een verdere vergroting, tot een hoeveelheid van 1000 à 1500 miljoen m^3, is eerst mogelijk na het uitvoeren van verschillende afwateringswerken. De berging in de Zeeuwse meren is nog niet bekend, doch zou orde van grootte op 500 miljoen m^3 kunnen worden gesteld (Memorie van Toelichting op de Delta-wet). Tegenover dit voordeel van een grote capaciteit staat echter het nadeel, dat het water hier vandaan nog naar de verbruikers moet worden gevoerd, waarvoor uitgebreide werken nodig zullen zijn en vooral, dat dit water nog bloot staat aan het risico van verontreiniging. Enerzijds is dit een gevolg van de omstandigheid, dat deze voorraadbekkens aan zee zijn gelegen, slechts door een smalle dijk hiervan gescheiden. Deze dijk kan doorbreken, waardoor het zoute water van de zee het voorraadreservoir binnenstroomt, maar ook zonder een dergelijke

calamiteit kwelt onder deze dijk zout water naar binnen en brengt ook het lek- en schutwater der sluizen in deze dijk belangrijke hoeveelheden zout mee. Anderzijds kan met de in uitvoering genomen Rijnkanalisatie het IJsselmeer niet van de IJssel worden afgescheiden en komen alle verontreinigingen op deze rivier automatisch ook op het IJsselmeer terecht. Dit klemt temeer omdat door de grote inhoud van dit meer de verversing slechts langzaam geschiedt. Enkele kilogrammen afvalprodukten van een kernreactor, door een ongelukkige omstandigheid in het water van de Bovenrijn terecht gekomen, belanden voor iets meer dan 1/10 deel op het IJsselmeer en zijn dan in staat de inhoud van dit meer van 10 000 miljoen m^3 gemiddeld op een stralingsintensiteit te brengen, welke boven de internationaal erkende grens van toelaatbaarheid ligt. De halveringstijden van deze produkten zijn zo groot, dat slechts met doorspoeling verbetering mogelijk is. De inhoud van het IJsselmeer wordt ververst in een tempo van 1300 miljoen m^3 per maand en is theoretisch eerst dus na 8 maanden geheel vervangen. Een radioactieve besmetting als bovengenoemd zou het IJsselmeer dus wel voor zeer lange tijd onbruikbaar maken.

Nu is de kans op radioactieve besmetting niet zo groot, maar wel is dit het geval met de verontreiniging door het Cl′-gehalte. In de afgelopen 20 jaar bedroeg het gemiddelde Cl′-gehalte van het IJsselmeerwater gemiddeld 200 mg/l, maar wanneer in droge jaren het rivierwater een hoog Cl′-gehalte heeft, zal ook het Cl′-gehalte van het IJsselmeerwater stijgen, in 1949 tot 400 mg/l en dan lange tijd op een hoge waarde blijven, in 1949 gedurende 3/4 jaar boven 300 mg/l. In de toekomst zullen door versterkte industrialisatie van het achterland deze cijfers nog hoger liggen.

In verband met het bovenstaande zou het sterk aanbeveling verdienen naast de stuwen in Nederrijn en Lek ook in de IJssel bij Westervoort een mogelijkheid tot afsluiting aan te brengen, zoals dit met de voor de oorlog geprojecteerde IJsselkanalisatie het geval zou zijn geweest. Met een dergelijke stuw kan het Rijnwater van het IJsselmeer worden gescheiden en via Nederrijn en Waal naar zee worden afgevoerd. Veel gunstiger wordt in dit opzicht de toestand van de Zeeuwse meren, welke blijkens de Memorie van Toelichting op de Delta-wet door een dam in het Volkerak van Haringvliet en Hollands Diep zullen worden gescheiden. Bij gesloten dam stroomt het water van de grote rivieren dan langs deze meren naar zee af. Mocht in de toekomst worden overgegaan tot het maken van een Waddenmeer, dan verdient het eveneens aanbeveling mogelijkheden te scheppen om het water van de IJssel door dit meer, dan wel langs dit meer naar zee te kunnen afvoeren.

Bij de Zeeuwse meren doet zich overigens nog de moeilijkheid voor, dat deze alleen via het Hollands Diep met rivierwater kunnen worden gevoed. Voor afvoer van ijs zal dit Hollands Diep echter in open verbinding met de zee worden gebracht, onderhevig dus aan eb en vloed met als gevolg een sterk doordringen van het zoute water der zee. Duurt de winter lang, zijn de rivierafvoeren in het voorjaar laag, dan is het nog een vraag of dit Hollands Diep wel tijdig genoeg kan worden schoongespoeld om als transportweg van rivierwater naar de Zeeuwse meren te kunnen dienen. Dat dit doordringen van zout water ook nog grote schade geeft aan de visstand is een bijkomend risico voor de visserij.

Aan het gebruik van verontreinigd oppervlaktewater zijn risico's verbonden. Deze risico's kunnen niet geheel worden uitgeschakeld, maar door het scheppen van reservevoorraden water, waarop in noodgevallen kan worden teruggegrepen, wel worden opgevangen. In ons land is de mogelijkheid voor het vormen van reservevoorraden beperkt. Deze voorraden dienen dan ook zo economisch mogelijk te worden gebruikt, d.w.z. niet te vroeg. Uiteraard mag ook niet te laat tot het inschakelen van deze voorraden worden overgegaan en moet dus tijdig kunnen worden gewaarschuwd. Waar het oppervlaktewater in ons land in feite het water van de Rijn is, betekent dit de noodzaak van een waarnemingspunt in Lobith. Door dagelijkse onderzoekingen van de hier genomen watermonsters kan de bovengevraagde tijdige waarschuwing worden gegeven. Trouwens ook om andere redenen, ter vastlegging van de kwaliteit van het water, zoals dit ons land binnenstroomt, zou een dergelijk waarnemingspunt grote aanbeveling verdienen.

VIII. SLOTBESCHOUWINGEN EN CONCLUSIES

C. BIEMOND

Directeur Gemeentewaterleidingen van Amsterdam

SPREKER dankt de inleiders voor de duidelijke en boeiende wijze, waarop zij de aanwezigen een inzicht in een zo veel omvattende materie hebben gegeven. Deze bijeenkomst zal daardoor zeker vruchten dragen.

Eveneens dient een woord van dank te worden gericht tot het gehoor, voor de opbouwende wijze, waarop is deelgenomen aan de uitwisseling van gedachten.

SPREKER wil thans trachten hetgeen naar voren is gebracht, samen te vatten in de vorm van een aantal conclusies, welke aan de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek zullen worden aangeboden. Daarbij zal de volgorde worden aangehouden, waarin de betrokken onderwerpen door de inleiders ter sprake zijn gebracht.

Als eerste conclusie (naar aanleiding van de voordracht van ir. HOPMANS) legt spreker de volgende aan de vergadering voor:

Het is wenselijk, alle afvalwater in Nederland een bezinking en een biologische zuivering te doen ondergaan.

Op voorstel van ir. HOPMANS wordt deze conclusie beperkt tot alle lozingen van enige betekenis.

Ir. KRAMER zou voorts gaarne de betekenis van de plaats der lozing in de conclusie opgenomen willen zien.

Ir. BIEMOND antwoordt, dat het hier uitsluitend gaat over de lozing van afvalwater op de binnenlandse oppervlaktewateren. Een lozing in zee is niet aan de orde.

2*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van ir. HOPMANS):

Er bestaat behoefte aan een verfijning van de methode tot het beschrijven van oppervlaktewateren. Voorts is er behoefte aan een kaart van Nederland met de oppervlaktewateren, onderscheiden naar hun eigenschappen.

Ir. HOPMANS licht nader toe, dat hij het belang van een betere differentiatie tussen assimileerbaar en niet-assimileerbaar heeft bepleit.

3*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van dr. SCHAAFSMA):

Het verdient aanbeveling een kaart van Nederland te doen vervaardigen, waarop staat aangegeven, welke wateren als zwemwater gevaarlijk, welke minder gevaarlijk en welke zonder gevaar zijn.

4*e conclusie*:

De vergadering verklaart, dat men in Nederland met levendige belangstelling de verrichtingen van de Internationale Rijncommissie volgt. Zij wenst de Nederlandse gedelegeerden in deze commissie sterkte en wijsheid toe.

5*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van ir. HOPMANS):

Het is van belang, dat de ontwikkeling van de chromatografie voor de bepaling van reuk- en smaakstoffen voortgang vindt.

6*e conclusie*:

De vergadering volgt met belangstelling de verdere ontwikkeling van het Veluwemeer.

7*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van dr. SCHAAFSMA):

Er dient te worden gestreefd naar een grotere kennis omtrent het voorkomen van pathogene kiemen in de Nederlandse oppervlaktewateren.

8*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van dr. SCHAAFSMA):

Het is wenselijk, de waarde van de meren en plassen in westelijk Nederland voor de drinkwatervoorziening te onderzoeken.

9*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van dr. VAN DEN BERG):

Aanbevolen wordt een geregeld onderzoek van het zoutgehalte, aangevuld met een minder frequente volledige chemische analyse, van het oppervlaktewater op een aantal essentiële punten over het gehele land verspreid.

Dr. VAN DEN BERG antwoordt op een vraag van drs. VAN HAAREN, dat hij het totale gehalte aan zouten van belang acht.

10*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van dr. VAN DEN BERG):

Deze conclusie betreft het zoutgehalte van het Rijnwater.

Ir. HOPMANS en prof. KRUL waarschuwen ervoor, dat de uitspraak van de commissie niet mag veroorzaken dat de Nederlandse gedelegeerden in de Rijncommissie zich min of meer gebonden zouden voelen.

Ir. HERWEIJER sluit zich hierbij aan en wil liever geen cijfers in de uitspraak genoemd zien. Spreker vraagt zich tevens af, of het in Europa niet tijd wordt om tot river basin planning te komen.

Ir. KRAMER stelt voor, erop te wijzen, dat door de hoge zoutgehalten van het oppervlaktewater in Nederland reeds thans moeilijkheden worden ondervonden bij de watervoorziening van industrie, landbouw en bevolking.

Ir. BIEMOND vat de diverse meningen samen in de volgende door de vergadering aanvaarde uitspraak:

De vergadering spreekt haar bezorgdheid uit over de toenemende stijging van het zoutgehalte van het Rijnwater.

Dr. VAN DEN BERG antwoordt op een vraag van ir. WIERSMA betreffende de wenselijkheid van een onderzoek naar de gevoeligheid van vee ten aanzien van het zoutgehalte van het drinkwater, dat zulk een onderzoek reeds plaats vindt.

11*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van drs. VAN HAAREN):

Het verdient aanbeveling over het gehele stroomgebied van de Rijn genormaliseerde metingen van de radioactiviteit van het water uit te voeren.

12*e conclusie* (naar aanleiding van de voordracht van ir. HUISMAN):

Met het oog op het optreden van onregelmatigheden en calamiteiten in het achterland verdient het aanbeveling ten behoeve van de drinkwatervoorziening en wellicht ook voor de industrie voorraden van voldoende capaciteit te vormen.

Dr. SCHAAFSMA zou aan deze reeks desiderata nog de wens willen toevoegen, te komen tot een versneiling van het onderzoek van de fecale verontreiniging van het oppervlaktewater, zulks in verband met de aanwezigheid van radioactieve koolstof in voedingsmiddelen.

Ir. BIEMOND is hiermede gekomen aan het eind van zijn taak.
De uitspraken van de vergadering zullen aan de voorzitter der Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. worden aangeboden.

THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS

DESCRIPTION OF THE LYSIMETERS

WITH A REVIEW OF THE RECORDS TO 1954

REPORT TO THE COMMITTEE ON HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

FOR THE WORKING PARTY ON LYSIMETERS

BY

R. WIND HZN. (†)

CONTENTS

I. The lysimeter installation of the Provincial Water Works of North Holland at *Castricum* 167

II. The lysimeter installation of the Agricultural Experimental and Research Station and the Soil Science Institute T.N.O. at *Groningen* 175

III. The lysimeters of the Municipal Water Works of Amsterdam near *Leiduin* 181

IV. The lysimeters of the Hoogheemraadschap (Regional Waterboard) Rijnland at *Oude Wetering* 189

V. The Rottegatspolder and the drainage lysimeter field laid out in the polder in the municipality of *Ten Boer* (Groningen) 196

VI. The lysimeter station of the former Central Institute for Agricultural Research at *Wageningen* 200

VII. The lysimeters of the Horticultural Division of the Department of Agriculture at *Wageningen* 207

Summary in Esperanto by drs. G. F. MAKKINK 210

Tables 214

Figures 222

I am greatly indebted to Mr. J. D. OVINGTON B. Sc., Ph. D. (The Nature Conservancy, Merlewood, Grange-over-Sands, Lancashire) for the correction of the English at the sacrifice of much of his time.

I. THE LYSIMETER INSTALLATION OF THE PROVINCIAL WATER WORKS OF NORTH HOLLAND AT CASTRICUM

The lysimeters of the Provincial Water Supply Board of North Holland at Castricum were built in the years 1940 and 1941. They are situated in an area of dunes at a distance of about 2 km. from the coast.

Aim

The research programme was designed to determine the amount of precipitation added to the groundwater with different types of vegetation cover.

In addition it was also hoped that the investigation would provide some evidence as to whether a vegetation cover, particularly of woodlands, influences the amounts of precipitation and interception. In other words, is the water yielding capacity of a locality adversely affected by a forest vegetation, bearing in mind that the nature of this vegetation may influence infiltration.

Construction

Since the lysimeters are concerned with woodlands they had to have a large surface area, considerably greater than a few square metres and had to represent all stages of succession.

Consequently these lysimeters are some of the largest in the world. The lysimeter tanks are square with sides 25 m. long and are slightly rounded at the corners so that the surface area of each lysimeter is not quite 625 sq. m. They are 2.50 m. deep, being made of reinforced concrete with the walls coated on the inside with Robitume No. 1. The drains along the base of each lysimeter have vertical walls with their apertures 25 cm. above the lysimeter bottom. Excess drainage water flows freely through the drains, so that the sand in the tanks is not saturated with water at a level greater than 25 cm. from the bottom. Since the lysimeters are filled with sand to their rims, the water level is 2.25 m. below the sand surface.

The drains are covered by slabs supported on small upward projections of the vertical drain walls or on brackets from the side walls. On top of the drain covers there are layers of gravel, one layer composed of grains from 10 to 30 mm. diameter and the other of grains from 4 to 6 mm. diameter.

Drainage water discharges through the drains into a storage tank and flows from there through a cast iron duct into a measuring chamber. The watertable level in each measuring chamber is determined by means of a floating gauge which permits a direct reading in litres (62 litres equals 0.1 mm. precipitation). The readings are recorded daily.

The lysimeters were all fiilled with sand from the building pit. The sand was deposited under water to a height of 1.80 m. from the bottom of each lysimeter and the uppermost 70 cm. was filled with dry sand. The area surrounding lysimeters III and IV, was dug three spades deep, i.e. to a depth of about 70 cm. and a vegetation comparable to that on the lysimeters was established.

Further details on the construction and erection of the lysimeters are given in an article by B. F. VAN NIEVELT, entitled: "*Het lysimeterwaarnemingsstation in het Provinciaal duinterrein onder Castricum*" (The lysimeter observatory station in the Provincial dune grounds near Castricum), published in *Water* of July 11th, 1941, No. 14.

Many papers have been published about these lysimeters and a list of publications follows.

Prof. A. TE WECHEL:	"De betekenis van het Lysimeterwaarnemingsstation onder Castricum voor den Boschbouw", *Water* 25 juli 1941, No. 15.
Dr. C. BRAAK:	„Meteorologische waarnemingen bij het Lysimeter-Station te Castricum", also in *Water* 25 juli 1941, No. 15.
Ir. B. F. VAN NIEVELT:	„Over de lysimeterwaarnemingen te Castricum", *Water* No. 30 (1946).
Dr. L. J. L. DEY:	„De meteorologische waarnemingen op het Lysimeter-Station te Castricum", *Water* 19 september 1946, No. 19.
Dr. L. J. L. DEY:	"The Lysimeter Station at Castricum" (Holland). Extrait des procès-verbaux des séances de l'Assemblée Générale d'Oslo (19-28 août 1948) de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale.
Z. VAN DOORN:	„Een hydrologische waarneming aan lysimeters van het P.W.N. te Castricum", *Water* 1 februari 1951, No. 3.
Ir. B. F. VAN NIEVELT:	„De lysimeters van het P.W.N.", *Water* 31 juli 1952, No. 16.
Ir. B. F. VAN NIEVELT:	„De lysimeters van het P.W.N.", *Water* No. 36 1952.
Ir. B. F. VAN NIEVELT:	„Lysimeteronderzoek in verband met de drinkwatervoorziening", *Verslagen Technische Bijeenkomsten* 1-6 *van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O.* 1952.
Dr. R. WIND HZN.:	„Evaporatie, transpiratie en interceptie van een dennenbosje in de duinen" *Water* 4 november 1954, No. 22.
Dr. L. J. L. DEY:	"The lysimeter Station at Castricum (Holland)". Publication No. 38 de l'Association Internationale d'Hydrologie (Assemblée Générale de Rome, tome III) 1954.

In the printed annual reports of the Provincial Water Works Board of North Holland the results obtained from the lysimeters from 1946 have been published, as monthly figures and annual totals, in a separate chapter entitled, "Lysimeter station".

VEGETATION

No vegetation cover has been allowed to develop in Lysimeter I and all plants that appear are removed by regular weeding.

Lysimeter II carries a natural dune vegetation, the sea buckthorn *(Hippophaë rhamnoides* L.) has gradually become dominant.

In Lysimeter III hardwoods have been planted, mainly pedunculate oak *(Quercus robur* L.), with some birch and alder.

Lysimeter IV has been planted with black pine *(Pinus nigra* ARN. var. *Austriaca* A et G).

Around lysimeters III and IV, a strip of soil 30 m. in width was planted at the same time and with the same species of trees, as on the lysimeters. During the first few

years the tree stands did not grow satisfactorily, but in later years their growth improved and height records are given in the following table:

Year	Height in cm.	
	Oak	Pine
1942	9	13
1943	11	23
1944	14	30
1945	15	44
1946	12 *	50
1947	16	80
1948	45	125
1949	60	170
1950	100	220
1951	120	265
1952	140	310
1953	165	350
1954	180	375 (after thinning)

METEOROLOGICAL EQUIPMENT

Some meteorological equipment was set up adjacent to the lysimeters and includes:

a. Rain-gauges

Near lysimeter I: a rain-gauge at ground level, surrounded by a brush mat; a rain-gauge with Nipher screen at 40 cm. above ground level from July 9th, 1953; a rain-gauge at a height of 40 cm. to correspond in height to the evaporation pan; at the end of 1954 two rain-gauges set up at a height of 150 cm., one with a Nipher screen and the other without; a recording rain-gauge 150 cm. above ground level.

Near lysimeter III: a rain-gauge at a height of 40 cm. and another one near the evaporation pan.

Near lysimeter IV: a rain-gauge at a height of 40 cm. and another one near the evaporation pan.

b. Instruments for the measurement of air temperature and humidity (at a height of 2 m. using Stephenson screens)

Near lysimeter I: *a)* a dry bulb thermometer, *b)* a wet bulb thermometer and *c)* a Six thermometer; *d)* a weekly thermograph from June 1941 to August 1945 and a daily thermograph from September 1945 onward. Near lysimeter III: as for lysimeter I.

c. Minimum thermometers at a level of 10 cm. above ground level near lysimeters II, III and IV.

* Decrease owing to ground frost damage.

d. Soil-thermometers

Near lysimeter I: soil-thermometers at depths of 0, 10, 25, 50 and 100 cm. below the soil surface and from 19th November 1948 one soil thermometer at a depth of 5 cm. in lysimeter I. From April 8th, 1948 to April 7th, 1954, temperature records were taken, at depths of 0, 5, 25, 50 and 100 cm., with a Brown recorder.

Near lysimeter II: soil thermometers at depths of 0, 10, 25, 50 and 100 cm. and from March 1st, 1950 at 80 cm.

Near lysimeter III: soil thermometers at depths of 0, 10, 25, 50 and 100 cm. from the surface.

Near lysimeter IV: as III.

e. Robinson Anemograph (vanes at a height of 9 m.) to register the velocity of the wind.

f. Weather-vane at a height of 6 m. to record the direction of the wind.

g. Evaporation pans at a height of 40 cm. above the ground with lysimeters I, III and IV, the pans near lysimeters III and IV were removed in 1955, together with the rain-gauges belonging to them.

h. Campbell-Stokes sunshine recorder from June 1st, 1945 onward.

i. Piche evaporimeters at heights of 10, 25, 50 and 100 cm. above the soil surface, from April 20th, 1953.

j. Anemometer at a height of 2 m., from August 31st, 1954.

Where no special dates have been mentioned, the appliances were erected on June 1st, 1945. A few of the instruments have been removed recently.

CHOICE OF YEARLY OBSERVATION PERIOD

In "*Lysimeteronderzoekingen te Groningen III, Regenval, drainage en verdamping: 1918–1946*" (Lysimeter investigations at Groningen III, Rainfall, drainage and evaporation 1918–1946), Mr. MASCHHAUPT states that records were grouped into periods of one year, running from September 1st to August 31st. This period proved to be unfortunate, particularly for lysimeters with cultivated crops, and the yearly observation period has now been changed so as to begin on February 1st. It was thought that the storage of water in the soil would show much less variation during the winter months, since in general the water content of the soil during winter approaches saturation point.

We have determined the number of months, for the period 1942 to 1954, that the quantity of drainage water from the bare sand lysimeter at Castricum is greater than, or at least equal to, the rainfall.

This has occurred in 42 of the 156 months, distributed as below:

January	5	May	2	September	1
February	5	June	3	October	2
March	7	July	3	November	3
April	4	August	0	December	7

Because of this monthly distribution it was decided to adopt an observation period extending from *March to February*. If the evapotranspiration during crop growth is to be termined, it is desirable to eliminate so far as possible delayed percolation of precipitation into the soil as a result of frost. Consequently, April would seem to be an even better month for starting the "hydrological" year, but March was finally selected since, with favourable weather during March, crops are already sown or planted out, and furthermore a substantial decrease in the water reserves in the soil may occur from March to April.

Evaporation

As the vegetations developed in the lysimeters, their forms have changed continually. At first the vegetations only influenced evaporation slightly, but the effects of transpiration and interception soon became noticeable. In the last few years a considerable part of the precipitation has been intercepted by the crowns from which it evaporates without ever reaching the soil. In the case of the pines, for the five year period before thinning in 1954, it is estimated that interception accounted for 40 % of the precipitation and only 60 % of the rainfall reached the soil.

The annual average of evapotranspiration and the quantity of drainage water ("useful precipitation") has been calculated only for the period 1942 to 1953, because of the probable effects of thinning on interception.

Table 1 and figure 1 show that the apparent [1] evapotranspiration of lysimeter I fluctuates near a level of 200 mm. per annum.

Furthermore it is evident from the table and figure that the apparent evapotranspiration from lysimeter II, with its natural dune vegetation, is always higher than that from lysimeter III carrying a broad leaved tree stand. This difference may be explained by the fact that the trees of the hardwood stand are all about the same height so that the upper surface of the tree crowns is relatively even and unbroken. In contrast the natural dune vegetation varies considerably in height with grassy openings occurring between the shrubs and trees. The leaf surface directly exposed to radiation may be much larger than in the case of the tree stand.

The large increase in evapotranspiration from the pine forest on tank IV after thinning in 1954, may be explained in a similar way since the compactness of the canopy was disturbed by thinning and a much larger part of the surface of the crowns of the remaining trees became exposed to direct radiation. Other factors are also involved, e.g. after thinning, more of the soil surface would be exposed to the sun so that evaporation from the soil increased. In addition, during the winter 1954/1955 much of the precipitation fell as snow, to be intercepted by the tree crowns and evaporated without ever reaching the soil. Consequently there is a substantial increase of the apparent evapotranspiration.

Though evapotranspiration is much greater and rainfall penetration to the soil is smaller with needle leaved trees than with broad-leaved trees, there is no reason to assume that this difference will persist.

---

[1] "Apparent", as the change in moisture-content of the soil, is not included in the reckoning.

The evapotranspiration from a well-established pinewood of low stocking density and with no thick undergrowth may be smaller than from a well-established wood of broad leaved trees, which usually has a thick undergrowth of shrubs and herbs. The lysimeters may provide data on this but observations over many years are required.

Assuming the relationship between the evaporation from the soil in lysimeter IV (needle leaved trees) and from the soil in the bare lysimeter I is the same as that between the evaporation from the evaporation pan in the strip of pines around lysimeter IV and from the evaporation pan near lysimeter I the following formula is obtained.

$E^{IV} : E^{I} = E_o{}^{IV} : E_o{}^{I}$.

The evaporation from the forest soil of lysimeter IV planted with pines can then be calculated approximately up to 1954, when the pine on the lysimeter was thinned. The surrounding pines, under which the evaporation pan is located, were not thinned out in 1954.

When the calculated values of evaporation from the soil are subtracted from the total apparent evapotranspiration the difference represents the quantity of water evaporated as transpiration and interception (table 2). These annual sums are plotted out in figure 2 against the squares of the height of the trees in the years 1945 to 1953. [1]

When transpiration + interception amounts to 500 mm., the graph becomes almost horizontal.

Evaporation from bare dune-sand

For the years 1943 to 1951 Mr. van Nievelt has calculated the relationship between the annual quantity of drainwater percolating through the soil and the precipitation. He found that the relationship between drainage (D) and precipitation (R) can be expressed by the formula $D = 0.913\ R - 85$ mm. From this it follows that the evaporation (E) $= 0.087\ R + 85$ mm.

For the years *1942 to 1954* the relationship is:

$D = 0.955\ R - 164$ mm.

$E = 0.045\ R + 164$ mm.

The orthogonal line of regression crosses the x axis at an angle of 43° 41′ (its tangent being 0.955) at a distance of 172 mm. from zero (figure 3).

Consequently there is only a slight increase in evaporation with a large increase of precipitation. Similar results have been reported for the lysimeters at Rothamsted (Engeland) during a period of 50 years (1880–1934). The Rothamsted soil is a heavy loam and the following formulae are derived from the Rothamsted results:
$D = 0.928\ R - 291$ mm. and $E = 0.07\ R + 291$ mm.

For the *calendar years* 1946 to 1954 the percentage of the evaporation, representing the apparent evaporation of the bare dune-sand of lysimeter I, of E_o-values according

[1] The square of the height of tree has been chosen since the rate of evapotranspiration is i.a. related to the surface of the crown, which is not known. The size of the surface of the stems is not known either.

to PENMAN'S method has been calculated. The annual figures of E_o have been determined at the K.N.M.I. (Royal Netherlands Meteorological Institute) at De Bilt by applying the nomogram of RIJKOORT, and using a newer formula of PENMAN, in which some of the constants have been modified. The percentages and the values from which they have been calculated are as follows:

Precipitation	E_o	Apparent evaporation	Percentage
1946 843 mm.	618.3 mm.	185.5 mm.	30.0
1947 648 mm.	701.3 mm.	192.5 mm.	27.5
1948 621 mm.	649.3 mm.	181 mm.	27.9
1949 773 mm.	627.7 mm.	180.5 mm.	28.7
1950 1065 mm.	621.5 mm.	242 mm.	38.9
1951 967 mm.	583.5 mm.	250 mm.	42.8
1952 937 mm.	615.7 mm.	182.4 mm.	29.6
1953 607 mm.	587.2 mm.	200 mm.	34.1
1954 891 mm.	552.1 mm.	207 mm.	37.5

The annual figures for E_o are obtained by summing the calculated monthly evaporation figures.

When plotted, the E_o-values show a declining trend. The late Dr. C. KRAMER of the K.N.M.I. has compared these values with those found for Hoorn and Den Helder, data being available there from 1933 onward. For the years 1946 to 1954 a graph of the E_o-values showed the same trend as the one for Castricum, but it also revealed that the declining trend is a casual characteristic of the 9 years reviewed, and certainly does not extend over the whole period of 21 years.

Apart from general climatological (sun) influences the declining tendency can also be attributed to local (wind) conditions. With regard to wind-velocity Dr. KRAMER found a substantial average decline in the course of years. The character of the wind recorded at 2 m. at Castricum has certainly changed during the 9 year period, due to the increased height and thickness of the vegetation in the vicinity of the recording instruments and because of new buildings in the neigbourhood.

The percentages from the table are plotted in figure 4 against the rainfall.

The data that are available are insufficient at present to draw final conclusions, but the following statements seem to be plausible:

1. The quantity of water evaporated from the bare sand within the period of one year is not a constant percentage of E_o. If this were the case the points would lie along a straight line; running parallel to the x axis.
2. With the increasing amounts of precipitation the percentage would rise at an ever incraesing rate, so that the points would become grouped in a band, tending upwards to the right.

This can be explained by the fact that water cannot percolate quickly into the soil with prolonged heavy rains, so that evaporation from a body of water may be taking place. The same may happen after a heavy shower following a drought. The distribu-

tion of the rainfall is also important. We have ignored the effect of temperature and wind-force in plotting rainfall against the ratio of annual evaporation to the E_o of the same year. In dry seasons the recorded apparent evaporation is often higher than in wet seasons, the effect of radiation being greater in the former case.

II. THE LYSIMETER-INSTALLATION OF THE AGRICULTURAL EXPERIMENTAL AND RESEARCH STATION AND THE SOIL SCIENCE INSTITUTE T.N.O. AT GRONINGEN

EQUIPMENT

This installation was constructed in 1918 in the grounds of the Agricultural Experimental and Research Station of that time in the Professor van Hallstraat.

The lysimeters are of reinforced concrete and each of the 8 lysimeter tanks has a surface area of 89 square dm. and is 140 cm. deep. The lysimeters are surrounded by side tanks, filled with the same type of soil and seeded with sheltering border plants. The soil of the side tanks is drained to the same depth as the lysimeters. The rims of the tanks are about 85 cm. above ground level. At the bottom of each tank are 3 galvanized iron tubes (39 mm. diam.) sunk for half their depth into the floor of the lysimeter. The tubes slope gently towards the recording cellar, underneath the centre of the lysimeter-installation.

A layer of river gravel, 20 cm. deep, overlies the perforated tubes at the bottom of each lysimeter. The lower gravel is relatively coarse, but the gravel becomes gradually smaller above and the top 5 cm. consists of very fine particles. Sand, 15 cm. deep, overlies the gravel layers. On top of the sand is 1 m. of silt soil collected from a field situated on Farm 5 (to the West of the farmhouse) of the Municipality of Groningen in the Nieuwe Ruigezandsterpolder, which was enclosed in 1877. Only soil of the tilled layer was used and all possible care was taken to ensure that the soil in the tanks was as homogeneous as possible.

Since the drainage water can flow away freely, there is no permanent water table in the tanks. The drainage water is collected in graduated bottles 10 litres in size, which are connected by tubing with other bottles at a lower level, so that 20 litres of water can be stored at any time.

In 1936 lysimeters 1 to 4 were modified in such a way that water tables can form but never heigher than 1 m. from the soil surface. Since the water is not replenished, the water tables fall freely. In lysimeters 5 to 8 the drains discharge immediately as soon as the moisture content of the soil is increased to field capacity by precipitation. With lysimeters 1 to 4 the water removed from the soil below the overflow (1 m. below soil surface) must be replenished before water will commence to flow again through the drains. The storage capacity of tanks 1 to 4 is therefore higher than that of tanks 5 to 8. The variation of the moisture content of the whole tank is wider with group 1 to 4 than with group 5 to 8.

The lysimeter installation is used, not only to investigate the water balance under different crops, but also to study the nutrient cycle of various elements affecting plant growth.

More extensive data on the lysimeters and on experimental work carried out with them are to be found in the following publications.

Lysimeter experiments at the Government Experimental and Research Station at Groningen and elsewhere.

I. Regenval, drainage en verdamping. *Versl. Landbouwk. Onderz. No.* 44 (1933), 184 pages.

Ditto II. De chemische samenstelling van het drainwater. *Versl. Landbouwk. Onderz. No.* 47 (1941), 363 pages, and Lysimeter experiments at Groningen III. Regenval, drainage en verdamping 1918 – 1946. *Versl. Landbouwk. Onderz. No.* 55.6 (1948), 40 pages.

These three publications have been written by Mr. J. G. MASCHHAUPT, under whose direction the lysimeters were erected.

ERECTION OF LYSIMETERS AND RAIN-GAUGE

From 1919 to 1951 records were collected from the lysimeters at least once a week, but afterwards they were taken daily. The meteorological equipment was restricted to one rain-gauge, 1.50 m. above soil level in the vicinity of the installation.

It is now known that the precipitation recorded by this rain-gauge is less than would be recorded by a rain-gauge at soil-level. The soil surface of these lysimeter tanks is however considerably above the general ground level, i.e. at 80 cm., so that in effect the rain-gauge is 70 cm. above the soil surface in the lysimeters. In the report of this lysimeter installation, soil level means 80 cm. above the level of the surrounding land.

The rainfall measurements would be improved by erecting a second rain-gauge at soil level and a third rain-gauge at the level of the adjacent land.

Some of the other conditions of this lysimeter installation are unfavourable particularly from a climatological viewpoint. These are:

1. The soil level is higher in the lysimeters than in the surrounding area. [1]
2. The weather conditions must be modified by the cage of wire-netting around the lysimeters which was established to keep out birds. For many years however, the cage roof of wire-netting has been removed, but after sowing and during the ripening of the crop a temporary roof is erected.
3. The location of the lysimeters in an urban area with its special climate is unsatisfactory.

The records from 1920 onward are summarised in table 3, the hydrological year being calculated from March to February.

After 1936, when the level of the watertable in the soil was adjusted in lysimeters 1 to 4, the results for the lysimeters 1 to 4 and 5 to 8 have been considered separately.

The apparent evapotranspiration, calculated as the difference between rainfall and drain-outflow for these two lysimeter groups gives the following ratios:

Lysimeter group	1–4		5–8
Before adjustment of the watertable (1919 to 1935)	100	:	102.7
After adjustment of the watertable (1937 to 1954)	100	:	101.0

Considering the imperfections of the installation which have been described, it is useless to keep the two groups of lysimeters separate when calculating the annual water consumption. For this reason the precipitation minus drain outflow (R — D) per annum has been given in table 3 as the average for all 8 lysimeters.

[1] In 1918 it was necessary to build the whole plant above the soil watertable level, as otherwise the costs would have been prohibitive. By the erection of side tanks it was hoped to meet, at least partly, the disadvantages arising from the difference in level.

WATER CONSUMPTION

The apparent evapotranspiration for the hydrological year, i.e. from March to February, amounted on the average to:

1. 512 mm. at a rainfall of 733 mm. for arable crops (over a 26 yr. period).
2. 510 mm. at a rainfall of 740 mm. for arable crops other than winter wheat and clover (over a 21 yr. period).
3. 538 mm. at a rainfall of 777 mm. for grass (over a 5 yr. period).
4. 321 mm. at a rainfall of 750 mm. for land left fallow.

Arable crops, other than winter wheat or clover, are present for about 145 days annually, and during the remaining 220 days of a year evaporation is comparable to that from fallow land.

In figure 5 the apparent annual evapotranspiration, with arable crops growing on the lysimeters, has been plotted against the annual rainfall for a period of 26 years. The distribution of the points does not give a linear relationship between the two values.

In order to determine the amount of water used by a crop under given climatological conditions, it is essential to know the rainfall during the growing season, that is during the period from sowing to harvesting, and also the difference in stored moisture at the beginning and at the end of the season. At present the latter data cannot be determined from the lysimeter records.

THE STORED WATER AT THE BEGINNING OF THE GROWING SEASON

STAPLE and LEHANE [1] found that: "31 years' measurements of the influence of meteorological factors on the yield of spring wheat grown in tanks and on field plots proved that evapotranspiration, the sum of the stored moisture used from the soil plus the seasonal rainfall, was the most important single factor influencing crop yield. Stored moisture and rainfall were almost equally effective under the conditions of those experiments".

Close comparisons cannot be made of the Dutch and Canadian data since the differences in climate are so great. In the area of Swift Current (Sask. Canada) where the Soil Research Laboratory is situated, the average annual rainfall in the 31 years from 1922 to 1952 was 346.7 mm. and of this almost half (160.3 mm.) fell in the months of May, June and July, i.e. during the growing season of spring wheat.

The Canadian results do however help to explain why the winter wheat, sown in September 1920, gave such a good yield in 1921, despite the dryness of both the spring and the summer. Although the precipitation of 482 mm., falling from March 1921 to February 1922, is the lowest recorded in the table, the crop yield in that hydrologic year is the highest for those seasons when winter wheat was grown.

[1] *Canadian Journal of Agricultural Science, 34* (1954) No. 6, p. 552/564.

The following rainfall and drainage figures indicate when water was supplied fo this crop of winter wheat.

	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	March	April	May	June	July
Rainfall mm.	34	8	12	33	115	15	38	27	20	44	17
Drainage water mm.	—	—	—	—	61	15	7	2	—	—	—

The crop was harvested on July 21th, so that the rainfall of July did not contribute much to its growth. During the period from March to June 129 mm. of rain fell, but during the first months after sowing there was little rain, only 53 mm. being recorded. The soil in the lysimeters did not become thoroughly wet until January and by the end of February the silt was saturated. The wheat clearly benefited by the soil moisture accumulated in the winter months and during the growing season utilised some of this water as well as rain falling from March to June. This is shown by the fact that after March virtually no water drained from the lysimeters.

The amount of water removed from the soil, cannot be calculated precisely since the quantity of water stored in the lysimeter is not known. The retention of water by silt is considerable. The amount of water available to the crop may be estimated as 25 per cent of the volume [1]. It can then be assumed that in the spring and early summer of 1921 the wheat may have withdrawn a quantity of moisture from the soil about equal to the quantity supplied by rain.

It seems probable that the moisture supply did not drop sufficiently low to limit growth and that other factors have been responsible for the high yield of the crop.

Regular measurements of the moisture status of the soil during the growing season are essential

The moisture status of the soil at the beginning of a growing season is very important. It is essential to determine regularly the moisture status of the soil during the growing season in lysimeters, in order to know how much water is available and the water requirements of crops.

[1] The Agricultural Exp. and Res. Station and Soil Science Institute T.N.O. found for a number of silt soils:

Origin	Suspensic fraction %	Vol. % of moisture with pF		Available moisture (vol. %)
		1.9	4.2	
Feerwerd	16	38	12	26
	17	37	12	25
	20	39	14	25
Zuurdijk	15	45	11	34
	21	40	20	20
Hornhuizen	10	33	7	26

If we select those years in which the flow of drainage water is substantial and permanent both in the period when a crop is present and after harvesting, it is possible to determine approximately the amount of moisture used during the growing season. Under these conditions it can be assumed that the moisture content of the soil at the beginning and end of the growing season is at field capacity.

In this way data are obtained on the loss of water in wet years but the amount of water, really necessary for the growth of the crop, is still unknown. Actually this loss includes evaporation from the soil, transpiration of the crop and interception. In wet years evaporation and interception may exceed the average considerably whilst transpiration may be below average.

Some of the data available for wet years are given below:

Year	Crop	Growing season	Rainfall minus drainage water during the growing season R-D	Apparent evapotranspiration in 24 hrs.	Total dry yield in grammes per sq. metre
1919	potatoes	May-Sept.	266 mm.	1.74 mm.	631
1927	ditto	May-Aug.	310 mm.	2.52 mm.	1220
1954	ditto	May-Aug.	251 mm.	2.04 mm.	941
1923	fodder beet	May-October	392 mm.	2.13 mm.	1405
1932	oats	March-July	295 mm.	1.93 mm.	963
1946	ditto	April-Aug.	287 mm.	1.88 mm.	515
1930 / 1931	winter wheat	March-July	312 mm.	2.04 mm.	1437

From these data water consumption during the growing season appears to be about 2 mm. in 24 hours.

Grass

The sward was not of the same quality as on normal grassland since the grass had been sown and did not completely cover the soil. Even after clover no compact sward developed. The lysimeters at Wageningen are covered with a relatively good sward, and if comparisons are made between the lysimeters at Groningen and at Wageningen (the lysimeter plant of the C.I.L.O. at Wageningen will be described later), this difference should be recognized.

With an average rainfall of 778 mm. for the years 1941 to 1945 (each year running from March to February) the apparent evapotranspiration averaged 538 mm. or 69 per cent of the rainfall.

Uncultivated soil

The lysimeters were not cultivated during the years 1934 to 1938. The average rainfall of these 5 years was 750 mm. per annum, the amount of water evaporated (calculated as the difference between rainfall and drainage outflow) was on the

average 321 mm., that is 42.8 per cent of the rainfall. For the individual years the percentage amounted to 46.4, 42.4, 41.7, 37.6 and 46.4 respectively, a rather wide fluctuation.

In respect of the dune sand in lysimeter I at Castricum, the fluctuation is even wider, the extremes in a period of 12 years being 20 and 40 per cent, with an average of 25 per cent. This is due to the fact that the surface layer, particularly of dune sand, dries out quickly and impedes evaporation from the deeper layers.

Observations over five years only give an indication of the amount of the evaporation from uncultivated silt soil or from grass covered soil under local conditions. In view of the changeable annual climate, the observations need to be extended over longer periods in order to obtain more valuable data and a better average. For arable crops, assuming that the practice of rotation farming is continued, it will be necessary to restrict the number of crops to three e.g. potatoes, oats or wheat and pulses for a period of ten years.

The number of years during which observations are made should be large enough for records to be submitted to statistical analysis.

III. THE LYSIMETERS OF THE MUNICIPAL WATER WORKS OF AMSTERDAM NEAR LEIDUIN

History

The officials of the Municipal Water Works of Amsterdam have attempted to measure, by means of lysimeters, the "useful precipitation" [1] in the dune area near Leiduin from 1903.

At first, wooden tanks lined with zinc were used, these being 1 m. square in area and 1 m. deep.

Later on, these tanks were replaced by concrete tanks.

Originally, the rims of the lysimeters were 25 cm. below the soil surface and in order to find out if this was a source of error, the lysimeter walls were raised in 1941 so that their rims came to the same level as the soil surface.

The lysimeters had no permanent water table. In order to determine if this affected the amount of water draining from the lysimeters, two deep lysimeters were constructed in the "Zwarteveld" in 1943 with a water table 4½ m. from the soil surface.

The following reliable records are available:

1. for shallow (1 m.) lysimeters at Boogkanaal, Oranjekom and Van Stirum Kanaal from 1929;
2. for two deep (4½ m.) lysimeters in the "Zwarteveld" from 1944.

Equipment of the lysimeters

a. The shallow lysimeters (see figure 6)

These are square concrete tanks having walls 5 cm. thick with an iron rim on the upper surface of the walls. The internal cross section of the tanks is exactly 100×100 cm.

The upper side of the rim is level with the soil surface.

The bottom of each tank slopes to one side in order to ensure that drainage water flows through an iron discharge tube to the storage pit.

From the top downwards the tanks are filled with

1. a layer of dune-sand 1 m. thick;
2. a layer of coarse-sand about 14 cm. thick;
3. a layer of gravel about 13 cm. thick.

When the tanks were filled, the dune sand was compressed layer by layer.

The gravel lies on a horizontal, perforated floor, which is 20 cm. above the sloping bottom of the tank at the side where the discharge tube is positioned and 10 cm. above the floor at the opposite side of the tank. The lysimeters discharge freely.

b. The deep lysimeters (see figure 7)

These are steel boilers having an internal diameter of 1.56 m., so that the area of the cross section is 191 sq. dm. The bottoms of the boilers are 5.03 m. below the soil

[1] That part of the rainfall added to groundwater.

surface. The two lysimeters are 1.20 m. apart and the gauge and collecting tube for each lysimeter run into a pit, the floor of which is 1 m. below the soil surface. A pump barrel is fitted inside the collecting tube for pumping up the drainage water. The entrance to the pit is located at a distance of 0.5 m. from the lysimeters.

On the basin-shaped bottom of each lysimeter is a perforated ring of copper tube one inch thick. The diameter of the ring formed by the tube is 1.10 m. and the top side of the ring is 10 cm. above the lowest part of the boiler bottom.

A connecting tube runs from the copper ring to the gauge tube in the entrance pit. This connecting tube passes through the wall of the boiler at a height of 30 cm. above the deepest part of the lysimeter.

The collecting tube with pump barrel extends to a depth of 7,85 m. below the soil surface, that is about 2.80 m. deeper than the bottom of the lysimeter. Each lysimeter is filled from below upwards with:

1. a layer of gravel 20 cm. in depth, 3–5 mm. diam.;
2. a layer of gravel 10 cm. in depth, 1–3 mm. diam.;
3. a layer of gravel 10 cm. in depth, 0,6–1 mm. diam.;
4. 4.5 m. of dune-sand.

The water level in these lysimeters is at a depth of 4.5 m. from the surface, that is at the border between the dune sand and the upper gravel layer.

THE RAIN-GAUGES

The oldest records of rainfall collected on these dunes dates back to 1860, when a rain-gauge was erected near the pumping station at Leiduin, at the eastern side of the dune area. This gauge is at a considerable distance from the site of the lysimeters.

The only rainfall records that can be used with lysimeters are those obtained from rain-gauges closeby. The rain-gauges described in the following table are all reasonably close to the lysimeters.

Lysimeters	Type of rain-gauge	Period of recording
Boogkanaal	1.50 m. above soil surface	1929 to the end of 1953
	ditto	1946 to the present day
	0.40 m. above soil surface Engl. setting [1]	1946 to the present day
Oranjekom [2]	1.50 m. above soil surface	1940 to the end of 1953
	ditto	1946 to the end of 1953
	0.40 m. above soil surface Engl. setting	1946 to the end of 1953
Van Stirumkanaal	1.50 m. above soil surface	1929 to the end of 1953
	0.40 m. above soil surface Engl. setting	1946 to the present day
Zwarteveld	soil rain-gauge	1946 to the present day
	0.40 m. above soil surface Engl. setting	1946 to the present day
	0.40 m. above soil surface Engl. setting	1948 to the present day

[1] English setting: see figure 8. [2] Moved in 1953.

At Zwarteveld records are only collected once in three months.

Other rain-gauges have been established for varying periods of time, but have now been removed and none of these are included in the table.

Evaporation pans were set up near the pumping station at Leiduin, but not in the immediate vicinity of the lysimeters.

Distance of the lysimeters from the coast

The lysimeters are at different distances from the sea, the distances are given below:

Van Stirumkanaal: 1500 m.
Zwarteveld . . .: 2100 m.
Boogkanaal . . .: 2400 m.
Oranjekom . . .: 4700 m. (moved in 1953).

The pumping station at Leiduin is about 6 km. inland.

With respect to their distance from the coast, the two deep lysimeters in the Zwarteveld approximate most closely to the lysimeters at Castricum (distance to the coast about 2 km.).

Situation

The lysimeter near the Boogkanaal is very exposed since it is on the top of a flat hill and the surrounding area has only a low vegetation (grasses etc.).

The lysimeter near the Oranjekom is situated on a long flat ridge running from east to west, along the top of which is an asphalt road. To the north of the lysimeter is a row of old beechtrees and the distance from the beeches to the lysimeter and rain-gauges is less than the height of the trees. Just to the north of the row of trees is the Oranjekom, a pond in a deep depression. To the south-west and in the immediate vicinity of the lysimeter the vegetation is tall. Consequently this site is very unfavourable and in 1953 the lysimeter was moved to a more satisfactory site.

The lysimeter near the Van Stirumkanaal is situated in the centre of an exposed site (5 to 6 m. across) between shrubs, mainly of sea buckthorn and on undulating ground.

The rain-gauge at 1.50 m. above ground level is to the S.W. and under the lee of a rather high and thick shrubbery. Probably the shrubs were formerly much lower than at present. The rain-gauge at 0.40 m. above ground level, in English setting, is well placed for recording rainfall.

The lysimeters in the Zwarteveld are situated in an extensive and perfectly flat, grassy field. The nearest trees, mainly pine, are a long distance away from the lysimeters.

The vegetation

The vegetation on and around the lysimeter near the Boogkanaal consists mainly of a thick sward of grass *(Festuca rubra)*, kept short by rabbits. Dispersed among the grass are to be found: birdsfoot trefoil, yarrow, sea-bent, plantain and occasional marram plants.

Near the Oranjekom the vegetation on and around the lysimeter is reminiscent of a forest vegetation. There is a good sward of *Poa nemoralis*, intermixed with wood-rush, marram, mosses, ground ivy, hound's tongue, thistles and one evening primrose. The vegetation is rather high and rough.

Near the Van Stirumkanaal the lysimeters are bare, but to prevent blowing of the sand the soil is covered with dead turves.

The vegetation on the lysimeters in the Zwarteveld is poorer than on the surrounding area. Some soil is exposed and where a vegetation exists, it consists mainly of mosses, grasses *(Festuca* spec. div.), sea bent with scattered crane's bill, dandelions, and forget-me-nots. The lysimeters may have been planted at one time with marram grass and some dead clumps still persist on the western lysimeter.

All the records of vegetation were made in May 1953.

MEASUREMENT OF PRECIPITATION

Near the lysimeters at Leiduin a number of rain-gauges were erected simultaneously and close together, but at different levels above the soil surface. It is possible therefore to calculate the ratio between the quantities of rain recorded in one year for rain-gauges at different levels above the soil. Fortunately all these rain-gauges have the same collecting area of 400 sq. cm. Dr. C. BRAAK has commented on the location and height of rain-gauges in: *Invloed van de wind op de regenwaarnemingen* (Effect of the wind on rainfall recording) *(Mededelingen en Verhandelingen van het K.N.M.I.* – 1945). His conclusions are i.a. that at sheltered stations the difference between a rain-gauge at 1.50 m. above the soil surface and one at 0.40 m. above the soil surface will amount to between 1 to 3 per cent of the total rainfall, but in the case of less favourably sited rain-gauges the difference will be over 5 per cent. In the windy coastal region, a lowering of rain-gauge level from 1.50 to 0.40 m. will, according to Dr. BRAAK, have the greatest effect. With a rather poor shelter in the coastal region an error of 6 to 9 per cent occurs.

We have been able to compare the rainfall, measured with a soil rain-gauge at soil level, with a rain-gauge at a level of 0.40 m. above the soil surface, in an English setting and with a rain-gauge at 1.50 m. above the soil surface, during a continious period of 7 years in the lysimeter area near the Van Stirumkanaal and in the Zwarteveld. The records are set out in the following table.

The ratios for the rainfall during the period 1947–1953, recorded by a soil rain-gauge, a rain-gauge at 0.40 m. above the soil surface in English setting and a rain-gauge at 1.50 m. above the soil surface can be calculated from these data and the average proportions are *100 : 98.3 : 88.6* respectively.

Though the positioning of a rain-gauge influences the quantity of rain recorded, this is by no means the only source of error which must be taken into account, when evaporation is determined by the method of water-balance. The rain-gauges do not necessarily record all water reaching the soil, since moisture may be added as condensation or by absorption. The amount of water added by these two processes is not known in this country, but both processes have been shown to occur during winter by the weighing lysimeters of the Central Institute of Agricultural Research at

Rainfall recorded from rain-gauges at different levels at Leiduin

Van Stirumkanaal

Calendar year	Level: 1.50 m. above the soil surface	Level: 0.40 m. above the soil surface Eng. setting	Ratio
1947	607.9 mm.	691.7 mm.	87.9 : 100
1948	653.6 mm.	718.2 mm.	91.1 : 100
1949	614.3 mm.	694.3 mm.	88.5 : 100
1950	918.7 mm.	1020.1 mm.	90.1 : 100
1951	823.9 mm.	924.9 mm.	89.1 : 100
1952	806.7 mm.	904.8 mm.	89.2 : 100
1953	550.9 mm.	569.4 mm.	96.7 : 100
Total	4976.0 mm.	5524.4 mm.	90.1 : 100

Zwarteveld

Calendar year	Level: 0.40 m. above the soil surface Eng. setting	Level: Soil raingauge	Ratio
1947	714.5 mm.	736.1 mm.	97.1 : 100
1948	697.9 mm.	705.2 mm.	99.0 : 100
1949	680.3 mm.	690.6 mm.	98.5 : 100
1950	996.4 mm.	1008.6 mm.	98.8 : 100
1951	888.1 mm.	891.1 mm.	99.7 : 100
1952	886.5 mm.	912.9 mm.	97.1 : 100
1953	579.4 mm.	590.4 mm.	98.1 : 100
Total	5443.1 mm.	5534.9 mm.	98.3 : 100

Wageningen. Investigations of vertical vapour transportation have revealed that during the winter months evaporation may appear to have a negative value.

The late profesor A. TE WECHEL states that "horizontal precipitation" is not fully recorded by rain-gauges in his article "*De betekenis van het lysimeter-waarnemingsstation onder Castricum voor de boschbouw*" (The importance of the lysimeter-observatory station near Castricum to forestry) in *Water* of July 25th, 1941. Horizontal precipitation originates from fine drops of water, which are deposited on branches, leaves and needles during a fog or mist. They coalesce to form larger drops which fall to the ground. "Anybody knows", states Professor TE WECHEL, "the dripping trees during foggy weather and even better the dropping of frozen dew after the sun partly melts down a hoarfrost with its rays about noon. The soil under the trees becomes wet, though it remains dry elsewhere".

Under these conditions a rain-gauge outside a wood set up on open grounds does not record the total addition of moisture to woodlands. This phenomenon is not

confined to tall trees but also occurs with a low stand. Even if rain-gauges are placed underneath the trees, no precise measurement of the total amount of water added to the soil is obtained. This is another source of error involved in the determination of the water balance and the consumption of water by a forest stand.

RESULTS OF THE OBSERVATIONS

To make the records of the various lysimeters comparable, the data recorded for rain-gauges at 1.50 m. above the soil surface were converted into precipitation equivalent to a rain-gauge at 0.40 m. above the soil surface in English setting, for the years when no rain-gauge was present at this height and position. The conversion factor used was:

$$\frac{\text{Total precipitation 1947–1952 for rain-gauge at 0.40 m.}}{\text{Total precipitation 1947–1952 for rain-gauge at 1.50 m.}}$$

The following table shows the evapotranspiration from 1947 onwards in mm. and in percentages of the rainfall, recorded by rain-gauges at 0.40 m. above the soil surface in English setting.

Year March to February	Van Stirumkanaal		Zwarteveld-W		Zwarteveld-E	
	Apparent evapotranspiration, calculated as R-D					
	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R
1947	183	22,4	208	25,2	229	27,7
1948	270	44,8	230	39,1	275	46,8
1949	251	33,9	271	37,4	318	43,9
1950	329	30,5	310	29,8	362	34,8
1951	277	30,8	249	28,6	326	37,5
1952	247	28,9	232	27,5	288	34,1
1953	191	33,6	161	27,8	204	35,2
1954	239	28,9	243	28,0	260	30,0
Average of 8 years	248	31,1	238	30,0	283	35,7

Year March to February	Boogkanaal		Oranjekom	
	Apparent evapotranspiration, calculated as R-D			
	mm.	% of R	mm.	% of R
1947	316	39,7	272	32,7
1948	378	66,0	354	56,3
1949	387	52,1	348	45,8
1950	439	41,7	444	41,7
1951	429	48,4	361	40,2
1952	448	52,6	395	44,2
1953	430	74,3	321	52,5
1954	427	51,2	moved	
Average of 8 years	407	51,5	—	—

From this table it is evident that in a dry year, such as 1948, evapotranspiration can reach large proportions. In contrast, 1953 was a dry year and yet the amounts of the evapotranspiration from the lysimeters were not great. However, when the rainfall of these two years is divided into summer and winter periods, interesting differences become obvious.

	1948		1953	
	summer-months April-Sept.	remaining six months	summer-months April-Sept.	remaining six months
Van Stirumkanaal .	351 mm.	428 mm.	392 mm.	240 mm.
Zwarteveld	334 mm.	423 mm.	388 mm.	240 mm.
Boogkanaal	329 mm.	409 mm.	378 mm.	252 mm.
Oranjekom	366 mm.	436 mm.	411 mm.	254 mm.

In 1953 the winterperiod was extremely dry and during the summer the average rainfall was 46 mm. more than in 1948, i.e. over 13 per cent. Why the apparent evapotranspiration near the Boogkanaal in 1953 was so much greater than in 1948 is not known, but it is quite possible that differences in wind are important.

The large apparent evapotranspiration for the lysimeter near the Boogkanaal may be caused by its exceptional location on the top of a flat hill. Vegetation cannot have been of any importance since in 1953 the vegetation was almost as poor as that near the lysimeters in the Zwarteveld. The grassy vegetation on the lysimeter near the Oranjekom is much richer and yet the apparent evapotranspiration is smaller even with a higher rainfall.

The lysimeters near the Van Stirumkanaal are more satisfactory for the measurement of evapotranspiration. Nevertheless it would be better if one of the two lysimeters in the Zwarteveld were left entirely bare (in this case Zwarteveld-W., where the vegetation is poorest), so that a proper comparison with Casticum can be made. At present the apparent evapotranspiration recorded at Zwarteveld is still slightly greater than for the bare lysimeter I near Castricum and this difference may be caused by the scanty vegetation. A comparison of the results obtained at Castricum and Zwarteveld is given in the following table

	Castricum		Zwarteveld-W	
	R (soil) rain-gauge	E	R (soil) rain-gauge	E
1947.	750 mm.	156 mm.	824 mm.	205 mm.
1948.	534 mm.	215 mm.	599 mm.	241 mm.
1949.	805 mm.	196 mm.	733 mm.	280 mm.
1950.	1124 mm.	262 mm.	1055 mm.	324 mm.
1951.	967 mm.	205 mm.	877 mm.	256 mm.
1952.	868 mm.	179 mm.	869 mm.	256 mm.
1953.	602 mm.	207 mm.	580 mm.	171 mm.
Total	5650 mm.	1420 mm. = approx. 25 %	5547 mm.	1733 mm. = approx. 31 %

Since records covering a period of 26 years are available for the lysimeter near the Van Stirumkanaal, the annual outflow of drainage water has been plotted against the annual rainfall in figure 9.

The angle of the orthogonal regression line and the x axis is 39°1'52", or approx. 39°, and crosses the x axis at 129 mm. (X_o). The quantity of drainage water for a given quantity of precipitation can be determined by the following formula:

$$D = (R - x_o) \operatorname{tg} \alpha =$$

$$D = 0.811\ R - 105 \text{ mm.}$$

hence for the evapotranspiration is

$$E = 0.189\ R + 105 \text{ mm.}$$

Although the vegetation has died on the lysimeter near the Van Stirumkanaal it cannot be regarded as a bare lysimeter since it is covered by turned sods. The apparent evapotranspiration is of the same order, with regard to quantity, as in the Zwarteveld and for the years 1947 to 1953 amounted to 32.5 per cent of the rainfall, recorded with a soil rain-gauge.

When comparisons are made with lysimeter I at Castricum it should be emphasised that the lysimeter near the Van Stirumkanaal is 1½ km. from the coast, compared with 2 km. for lysimeter I at Castricum and in addition the Castricum site is relatively sheltered.

IV. THE LYSIMETERS OF THE HOOGHEEMRAADSCHAP (REGIONAL WATERBOARD) RIJNLAND AT OUDEWETERING

CONSTRUCTION

This installation, established in 1941, consists of four lysimeters. Each of these is connected by piping to the storage vessel E (figure 10).

The tanks are constructed of light reinforced concrete, the walls and bottom being 5 cm. thick. The inside of the walls has been coated with two layers of Supraline and the outside with two layers of asphalt.

Each tank is square, the internal measurements of the sides being 1.015 m. and the internal depth is 1 m.

An edge of angle iron shaped ⊢, 60×60×7 mm. is attached to the rim of the tank, the pieces being welded together at the corners. The inside measurements of the rim of angle iron are exactly 1×1 m.

Three cm. above the bottom of each tank is an iron pipe (internal diam. 1"), having holes of 5 or 8 mm. diameter along the bottom and sides. The total area of the holes is 1000 sq. mm. Unglazed drain pipes are placed loosely next to each other around this pipe.

FILLING

The lower 19 cm. of each lysimeter tank is filled with a layer of coarse gravel on top of which is a layer of fine gravel (spramex), 5 cm. deep, and then a layer of pure dune sand, 9.5 cm. in depth. The total depth of these drainage layers is therefore 33.5 cm. As the bottom of each tank is 1.033 m. from the soil surface, the top of the drainage layer is located at approx. 70 cm. from the soil surface.

The soil to be tested is superimposed on the drainage layer up to the upper edge of the iron rim (the exact level is 2.2 cm. below N.A.P. (ordnance datum)).

The soil in lysimeters 1 and 2 is prime bulb soil from Lisse whilst in lysimeters 3 and 4 the soil is a black earth as is frequently found in the shallow polders around Oudewetering (peat soil).

CONTROL OF THE WATERTABLE LEVEL IN THE SOIL

The iron pipes, carrying the seepage water from the lysimeters to the storage vessels E are horizontal, their lower sides being 100 cm. below the soil surface.

The pipes of lysimeters 2 and 4 discharge freely into the storage vessels below. Up to November 1951 the seepage water of lysimeters 1 and 3 began to discharge into the storage tanks when the water table rose to 63 cm. from the soil surface. In November 1951 the technique of controlling the level of the water table in lysimeters 1 and 3 was altered and by means of holes in the pipe, shown by the arrow marked *b* in figure 10, the water table level was controlled more precisely. In wet periods the water table cannot rise above the hole in the pipe. In dry periods the water table will drop until it reaches the level of the hole in the replenishing pipe. Air is then auto-

matically drawn through the pipe into the replenishing tank so that the water from this tank can then flow into the lysimeter and raise the water table until the hole is closed again. It has been found that the replenishing tank will be emptied immediately by suction, if the hole in the replenishing pipe is at the same level as the holes in the overflow pipe. Consequently during dry periods the level of the water table fluctuates between the level of the hole in the replenishing pipe and the level of the holes in the overflow pipe. The difference between a and *b* is maintained at approximately 4 cm.

Vegetation

The soil around lysimeters 1 and 2 was removed when the lysimeters were constructed and replaced by bulb soil from Lisse. An area of 4×4.5 m. covering lysimeters 1 and 2 and the surrounding soil is planted annually with bulbs whilst lysimeters 3 and 4 and their surrounding area have been maintained under grass, sown in 1941.

Measurements

The water table levels in the storage tanks E are recorded four times daily, one of these times being 8 A.M. when the precipitation of the previous 24 hours is also measured.

The level of the water table in the soil is shown on a calibrated gauge by a pointer attached to a counter weighted float. The scale is divided so that a change in water level can be read directly in mm.

Until 1949 the level of the water table in lysimeters 1 and 3 was recorded daily by measurements of the soil-water table in tube C. When the water level dropped a few cm., the water was replenished and a periodic check was made in the level pipe D.

Since 1949 the water has been replenished automatically when the level of the soil water table falls.

Meteorological equipment

A rain gauge at 40 cm. above the soil surface, is situated near the lysimeters, but since it is in the vicinity of houses, the location is not ideal. In addition, there are wet and dry bulb thermometers, a self recording anemometer, an electric weather vane, a mercury barometer, a Six thermometer for maximum and minimum temperatures and a thermometer for measuring the temperature of the drainage water.

Records

The total annual precipitation, drainage outflow, added water (subirrigation) and apparent evapotranspiration are given in table IV. For lysimeters 2 and 4 with free outflows the apparent evapotranspiration has been calculated as the difference between precipitation and seepage water, but for lysimeters 1 and 3 with a stable soil water table level as precipitation + added water (I) – percolated drainage water (D).

The records for lysimeter 4 taken after 1945 are unreliable since after this year the drain from the lysimeter has been blocked repeatedly.

LYSIMETERS 1 AND 2

Bulbs

The bulbs on lysimeters 1 and 2 are planted out in October, the shoots emerge from the soil in March and the bulbs are lifted at the beginning of July. Such a vegetation obviously does not cover the soil for more than 4 months of each year and annual results for apparent evapotranspiration are not very significant.

The change in the moisture content of the soil during a year is not known for lysimeter 2 which has a free outflow. Therefore it is not possible to calculate the evapotranspiration accurately for the short period of time that the crop is above the surface of the soil.

Lysimeter 1 is different in that a stable water table is maintained at 63 cm. below the soil surface. Consequently water is raised by capillarity to within a few cm. of the soil surface and only changes in the soil moisture content of the top 30 cm. of soil need to be taken into account. Even so it is impossible to determine the actual evapotranspiration from this lysimeter. Except for two years, no extra supply of water was necessary in March to maintain the water table at 63 cm. below the soil surface. In the exceptional years the amount added was of little importance, consisting of two additions of 6 and 18 mm. respectively.

We may assume that at the end of March the soil contained sufficient water for the crop and also that the bulbs required little water in July, as they were in the soil for only ten days of that month.

When the bulbs are lifted in July the soil is scarified and this may cause increased evapotranspiration. It seems better therefore to ignore the July observations and to consider only the months of April, May and June. The monthly values of rainfall R and drainage water D, supplied water (sub-irrigation = I) and consumption C = R+I — D, for the years 1943 to 1954, are given below.

Year	April				May				June			
	R	I	D	C	R	I	D	C	R	I	D	C
1943	44	24	9	59	42	77	9	110	76	11	34	53
1944	29	17	7	39	30	44	1	73	49	14	7	56
1945	41	—	1	40	97	—	45	52	34	—	7	27
1946	23	44	—	67	25	70	—	95	84	7	8	83
1947	34	13	18	29	41	39	7	73	48	42	12	78
1948	56	4	25	35	26	63	4	85	60	19	—	79
1949	73	10	34	49	46	38	6	78	20	30	1	49
1950	77	5	27	55	42	55	1	96	59	60	17	102
1951	73	10	51	32	35	45	—	80	55	80	15	120
1952	26	44	16	54	22	65	—	87	72	5	21	56
1953	51	29	24	56	27	81	4	104	103	25	52	76
1954	16	22	9	29	40	78	16	102	79	53	46	86

In 1945 no extra water was supplied to keep the water table at a stable level and 1945 is not therefore included, but in the remaining years for the months of April, May and June, the apparent evapotranspiration was:

222 mm. in 1943, 199 mm. in 1948, 197 mm. in 1952,
168 mm. in 1944, 176 mm. in 1949, 236 mm. in 1953,
245 mm. in 1946, 253 mm. in 1950, 217 mm. in 1954.
180 mm. in 1947, 232 mm. in 1951,

The term *apparent* evapotranspiration is used because any changes that may occur in water storage are not included in the results above. The extremes, 168 mm. in 1947 and 253 mm. in 1950, differ considerably (about 21 %) from the average for these 11 years (211 mm.), so that the average figure is not of great significance.

In the years 1943, 1944 and 1946 to 1954, the average consumption of water per 24 hr. period was 1.5 mm. in April, 2.9 mm. in May and 2.5 mm. in June with an overall average of 2.3 mm. for the three months.

There is no obvious relationship between water consumption and the kind of bulb crop or between consumption and yield, whether the total weight on lifting or the increase in weight be considered.

A marked difference occurs in the yields from lysimeter 1 with a controlled soil water table level and from lysimeter 2 with a free outflow. This difference is statistically significant and a controlled water table level is definitely advantageous for bulb crops.

Year	Increase in weight in grammes		Increase in weight as percentages of the weight of planted bulbs		Crops
	lysimeter 1	lysimeter 2	lysimeter 1	lysimeter 2	
1943	2010	1233	134	84	tulip
1944	1535	1025	63.5	40	narcissus
1946	1731	125	89	6.1	tulip
1947	2880	1210	101	40	narcissus
1948	2142	1100	100	51	hyacinth
1949	1219	1368	50.5	53.7	tulip
1950	4111	2068	183	91.5	narcissus
1951	3490	1435	178	72.7	hyacinth
1952	1406	1585	84.2	90	tulip
1953	3698	2424	105	67.7	narcissus
1954	1910	−200 *)	76	< 0	hyacinth

*) damage by frost.

LYSIMETER 3

Grass

In this lysimeter there is a grassy vegetation growing on peat soil, with a water table level maintained at 63 cm. below the soil surface.

The grass was sown in 1941, is cut several times each year and is sent to the former CILO [1] at Wageningen to be analysed. Fertilizers are regularly applied in accordance with advice from the CILO.

[1] Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek (Central Institute for Agricultural Research).

The apparent evapotranspiration was smaller during the first 6 years than in the following years (table 4).

In the years 1943–1948, with a rainfall of 724 mm. and a replenishment (sub-irrigation) of 211 mm. of water, the apparent evapotransporation amounted on an average to 537 mm. per annum, that is 64.3 per cent of the available quantity of water (835 mm. the credit items on the water balance).

In the ensuing years with a rainfall of 810 mm. and a replenishment (sub-irrigation) of 286 mm. the apparent evapotranspiration was on the average 652 mm. per annum, representing 59.5 per cent of the available 1096 mm. of water.

When automatic replenishment of water was introduced in 1949 the supply of water increased and this is evidently reflected in the greater apparent evapotranspiration in the years following 1949.

Even in wet years such as 1950 and 1951, with a rainfall during the summermonths (April to September) of 557 and 411 mm. respectively, the supply was augmented by 204 and 234 mm. respectively.

During these two wet summers few very dry months were recorded as shown below.

Year	April		May		June		July		August		September	
	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
1950	77	17	42	46	59	96	136	22	122	23	121	—
1951	73	24	35	50	55	84	46	59	130	11	72	6
	quantities in mm.											

As would be expected in such wet years, temperatures were not very high and the average daily temperatures from April to September for 1950 to 1951 and also for the 3 preceding years are given below:

Year	April	May	June	July	August	September
1947	9.8° C	16.2° C	18.5° C	20.1° C	21.0° C	18.0° C
1948	10.7° C	14.1° C	16.5° C	17.7° C	17.6° C	15.7° C
1949	11.2° C	12.6° C	15.6° C	18.6° C	18.6° C	18.5° C
1950	8.6° C	13.7° C	18.6° C	18.5° C	18.7° C	14.4° C
1951	8.1° C	13.1° C	16.4° C	18.1° C	17.7° C	16.3° C

In 1947 the temperatures were relatively high and yet the apparent evapotranspiration was low at 557 mm. with 767 mm. of rainfall and 207 mm. of supplementary water (a total of 974 mm. for the whole year). During the summer half of this year evapotranspiration was 483 mm. with a rainfall of 293 mm. supplemented by 207 mm. of irrigation water. No subirrigation took place during winter.

The dry weights of the grass in 1948, 1949, 1950 and 1951 were 614 g., 851 g., 1184 g. and 796 g. with water consumptions of 583 mm., 762 mm., 679 mm. and 630 mm. respectively. No further data are available. It seems, from the recorded

yields, that the higher evapotranspiration is in part a result of the better growth as shown by the higher yield of the grass crop.

Later, when the lysimeters of the CILO at Wageningen are discussed, the water consumption of lysimeter 3 at Oudewetering will be compared with the water consumption of the lysimeters at Wageningen, which have a stable soil water table level and the same type of peat. In order to estimate the consumption of water per 24 hours for the separate months, a table has been prepared of the average daily apparent evapotranspiration of lysimeter 3.

The water consumption in different months varies considerably, particularly during winter and the soil may absorb water which is not recorded by the rain gauge, so that an apparently negative value is obtained for water use. Similar results were obtained at the Wageningen lysimeters which are described later in this report.

Consumption (apparent evapotranspiration) per 24 hours in mm. Lysimeter 3, Oudewetering – grass on peat soil – stable watertable level.

Year	January	February	March	April	May	June	July
1943	–0.43	0.17	0.44	2.34	2.96	2.87	3.27
1944	–0.03	0.11	0.36	2.31	3.00	2.80	3.15
1945	0.47	–0.50	0.33	1.35	3.06	1.13	1.22
1946	0.19	0.60	0.12	1.52	2.68	3.20	2.85
1947	–0.29	0.32	0.21	0.59	1.33	4.94	3.67
1948	0.18	0.21	0.59	1.43	2.58	4.11	2.08
1949	–0.03	0.36	0.60	1.74	3.81	4.05	4.77
1950	0.19	0.32	0.98	2.24	2.75	4.64	3.93
1951	–0.22	0.35	1.12	1.54	2.73	4.18	3.00
1952	0.52	0.14	0.91	2.30	3.60	3.54	3.88
1953	0.04	–0.14	0.99	2.04	3.38	2.61	3.81
1954	0.30	0.67	0.00	1.97	2.79	3.41	3.36
Av.	0.07	0.22	0.55	1.78	2.89	3.46	3.25

Year	August	September	October	November	December	Whole year
1943	2.60	1.76	0.91	0.45	0.04	1.45
1944	3.08	2.11	0.93	0.31	0.22	1.54
1945	2.69	2.11	1.07	0.59	0.34	1.17
1946	3.23	1.79	1.15	0.31	0.40	1.51
1947	1.68	3.68	0.49	1.56	–0.22	1.49
1948	4.04	1.97	1.15	0.37	0.43	1.60
1949	4.03	2.84	1.57	0.63	0.35	2.07
1950	3.52	1.92	0.96	0.38	0.75	1.89
1951	3.52	1.70	1.29	0.60	0.24	1.68
1952	2.94	2.57	0.87	0.69	–0.15	1.83
1943	3.32	2.07	0.46	0.58	0.42	1.64
1954	2.72	2.34	0.83	0.49	0.15	1.59
Av.	3.11	2.24	0.47	0.58	0.25	1.62

For comparison:

Wageningen

V9c to V12c

Year	January	February	March	April	May	June	July
1953	–0.07	1.2	1.2	2.3	3.1	2.9	3.1
1954	0.23	0.2	0.8	2.55	3.9	3.2	2.7

Year	August	September	October	November	December	Whole year
1953	2.5	2.1	0.7	0.2	0.02	1.61
1954	2.65	1.65	0.8	0.5	0.28	1.61

In figure 11 the total annual amount of drainage water has been plotted against the sum of the precipitation and the sub-irrigation, which was needed to keep the water table at a constant level.

The angle between the orthogonal regression line and the x axis is 37°21′, the line crossing the x axis at 464 mm. (x_o). For the calculation of the quantity of drainage water associated with a given quantity of water supplied to the soil by rain and sub-irrigation the following formula can be applied:

$D = 0.763 \times (R+I) - 354$ mm.

For the apparent evapotranspiration the formula is

$E = 0.237 \times (R+I)+354$ mm.

If the quantity of drainage water is plotted against precipitation alone, the angle between the orthogonal line of regression and the x axis is 42°9′, the line crossing the x axis at 302 mm. (x_o), see figure 12. In this case the formula to be applied to calculate the drainage flow is:

$D = 0.905 \times R - 273$ mm. and for

$E = 0.095 \times R+273$ mm.

V. THE ROTTEGATSPOLDER AND THE LYSIMETER FIELD THERE

THE ROTTEGATSPOLDER

Investigations are being made at the Rottegatspolder and its lysimeter field by th Working Committee on Evaporation Research. An account of this research was give in a lecture by Ir. A. H. STAM and in a lecture by the late Dr. S. B. HOOGHOUDT Both lectures were read at the first technical meeting of the Committee on Hydrologica Research T.N.O. and published in *Verslagen Technische Bijeenkomsten* (Proceeding of the Technical Meetings) *1–6*. A further report of this research is given in an articl by Ir. A. H. STAM, entitled "*Een verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder in d gemeente Ten Boer van de Provincie Groningen*" (An investigation on evaporation i the Rottegatspolder in the municipality of Ten Boer in the Province of Groningen) published in the *Ingenieur* of November 8th, 1946 (Volume 58, No. 45). [1]

The polder can really be considered as one huge lysimeter and investigations of th utilisation of the watersupply in the polder enable an estimate to be made of the tota quantity of water evaporated from the *polder as a whole.*

The water-balance of a polder can be expressed in the equation:

$$R+I+O_t = D+G+S+O_a+E,$$

in which R = rain-fall, I = the water let in [2], O_t = the water supplied from the soil D = discharge, G = increase of the water supply in the soil, S = increase of th water held by the ditches, O_a = the water draining through the soil and E = eva poration.

If a polder is selected with a water retentive soil, no inflow of water from outsid and no wells etc., then O_t and O_a can be neglected and the following formula fo evaporation is obtained

$$E = R+I-D-G-S.$$

The Rottegatspolder complies with the conditions mentioned above and is 86.6 ha in size. It is situated in the municipality of Ten Boer in the province of Groningen, a about 9 km. from the city of Groningen, and along the Damsterdiep. The Rottegats polder was primarily selected for investigation because there is no inflow of water to it

It should be emphasised again that a rain-gauge does not necessarily record al the precipitation added to the soil since none of the moisture deposited as dew o absorbed water (i.e. "horizontal precipitation" – fine drops of water formed o plants from fog or mist, dew, hoarfrost). This error cannot be eliminated from th computed evaporation based on the water-balance.

The soil consists of a layer of clay many meters deep, the upper clay being poo in lime, very retentive of water and rich in iron. The polder is mainly arable land

---

[1] Publication No. 2 of the *Verslagen en Mededelingen van de Commissie voor Hydrologisch Onder zoek T.N.O.* (Proceedings and Informations No. 2 of the Committee on Hydrological Researc T.N.O.), published in 1955, contains a report on evaporation research in the Rottegatspolde during the years 1947 to 1952.

[2] = water let in = sub-irrigation.

When the polder was selected originally for the experiment, 59 % of the land was arable, 29 % was in grass and the other 12 % was classified as "miscellaneous" i.e. roads, buildings, etc., or waste land. Since then grass land has been ploughed up and today the proportions are 75 % arable, 13 % grass land and the "miscellaneous" area remain unchanged.

The change in land use is important for the hydrologic investigations. If we assume that the arable land is fallow for about 6 months in a year, originally 59 % of the area was without a vegetation cover for half a year which is equivalent to the whole being fallow for 30 % of a whole year. Today 75 % of the area is bare for half a year or about 38 %, computed on the basis of a whole year. As evaporation of water from uncultivated land is much less, at least 200 mm., than from cultivated soil, the change from grass to arable land may have affected the results of the investigation considerably. A close comparison of the periods before and after ploughing up the grassland, is difficult.

Meteorological equipment

At present the following meteorological instruments are installed:

1. 8 rain-gauges at a level of 40 cm. above ground level, one in English setting and two on the drainage-lysimeter field;
2. 4 three-vaned Robinson contact anemometers, to record the wind-velocity at 25, 50, 100 and 200 cm. above the soil surface;
3. 4 self-recording psychrometers at the same levels as the anemometers;
4. soil-thermometers at 1, 5, 20, 25, 50 and 100 cm below the soil surface;
5. a copper evaporation tank, internal diameter 50 cm. depth about 20 cm;
6. a Campbell Stokes sunshine-recorder;
7. a weather vane.

Part of this equipment is especially intended for research using the method of vertical vapour transportation.

The drainage-field lysimeter

This experimental field is 1.5 ha. in extent and is situated at a distance of about 300 m. from the Damsterdiep along the Bovenrijgsterweg in the Rottegatspolder. It includes four experimental plots each 25 m. square and 30 m. apart. Each plot is enclosed by a surrounding wall with a wooden damwall from 40 to 340 cm below the soil surface. The experimental field is drained with pipes (diam. 5 cm.) in lines 5 m. apart and at a depth of 93 cm. It is intended to maintain the soil-watertable level at 80 cm. below soil surface, viz. at 1.50 below N.A.P. (ordnance datum). The level of the soil surface is at 70 cm. below N.A.P.

The drains of each plot (lysimeter) form a closed drainage sub-irrigation system. The quantities of water supplied and discharged can be measured. The drainage systems of the lysimeters are separated from that of the rest of the experimental field

by a soil column 2 m. thick. In the experimental field there are four lysimeters, in which the soil profile has, on the whole, retained its natural structure.

The growth of crops and other factors are almost the same as those of both the experimental fields and the adjacent fields.

The changes in the storage of the ground-water in these lysimeters are determined from moisture samples and it is extremely important to record the changes in soil-moisture accurately.

The evaporation, over short periods, as e.g. one month, can be calculated by applying the formula $E = R+I-D-G$, E being the evaporation, R the precipitation, I the water let in, D the discharge and G the increase of the quantity of soil moisture.

The water table level in the soil of the experimental field and the four experimental plots is automatically maintained and the quantities of water to be supplied and discharged are recorded by an apparatus with automatic pumps and water-gauges. Eight water table tubes are situated in a line parallel to the edge of the four plots.

Observations

The results of the observations for the Rottegatspolder, in the periods mentioned in the *Verslagen van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek* (Reports of the Working Committee on Evaporation Research) are given in table 5. In addition an attempt has been made to obtain data for the growing season from observations over shorter periods. Unfortunately with the available data the lengths of the growing seasons have been overestimated so that the beginnings and ends do not always coincide. The results obtained in the drainage-lysimeter field are given in tabel 6 and are averages of the four experimental lysimeter plots.

Only once since the drainage-lysimeter field was set up, has the same crop been grown on it, as on the lysimeters of the Agricultural Experimental and Research Station and Soil-Science Institute T.N.O. at Groningen. This was a crop of winter wheat in 1952. After April little or no drainage-water was flowing from the lysimeters at Groningen, and therefore we have to assume that during the months May to July the reserve of moisture in the soil decreased considerably. The calculation of apparent evapotranspiration will undoubtedly give too low a result and the results are given below:

Crop	Growing season	R	E	E per 24 hours
Winterwheat				
Drainage-lysimeter field . . . . . (E = evapotranspiration)	March-July 1952	392 mm	357 mm	2.33 mm
Groningen (E = apparent evapo-	March-July 1952	274 mm	231 mm	1.51 mm
Groningen \ transpiration	March-July 1931	348 mm	312 mm	2.04 mm

If a year is selected in which the drainage-water continued to flow throughout the growing season, as e.g. 1931, the apparent evapotranspiration is high, although it is

still less than the evapotranspiration from the drainage-lysimeter field. Comparable figures are given here below for the lysimeters at Groningen, planted with potatoes or oats during years when the drain discharged continually.

Crop	Growing season	R	E	E per 24 hours
Potatoes				
Groningen (E = apparent evapotranspiration)	May to September 1919	281 mm	266 mm	1.74 mm
Groningen (E = apparent evapotranspiration)	May to August 1927	336 mm	251 mm	2.04 mm
Groningen (E = apparent evapotranspiration)	May to August 1954	398 mm	310 mm	2.52 mm
Drainage-lysimeterfield (E = evapotranspiration)	May to September 1951	298 mm	279 mm	1.82 mm
	April to September 1954	516 mm	334 mm	1.78 mm
Oats				
Groningen (E = apparent evapotranspiration)	April to August 1932	390 mm	307 mm	2.01 mm
Groningen (E = apparent evapotranspiration)	April to August 1946	308 mm	287 mm	1.88 mm
Drainage-lysimeterfield (E = evapotranspiration)	Mid-May to September 1950	506 mm	354 mm	2.55 mm

The available data are not really sufficient for detailed comparisons. However, it is apparent that the research would be improved if the same crop was grown every year and if the change in the water reserve was determined at the end of every major growth stage e.g. the times of sowing, of closure of the crop, of blooming, of setting of fruit, of ripening, of dying off and of harvest.

Little can be said so far about evapotranspiration from the polder as a whole since the periode of observation is still too short. If we exclude the very wet year of 1950, the average annual evapotranspiration is 1.31 mm. per 24 hours (the values for the five years do not vary widely being: 1.34 — 1.33 — 1.36 — 1.30 — 1.34 mm respectively). In 1950 the evaporation was 1.66 per 24 hours and this higher value is indicative of the increased importance of interception in the total evapotranspiration of that year. It may be that temporary puddles were formed on the land, so that the evapotranspiration would be mainly from open water and wind may have been a further cause of the high evapotranspiration.

VI. THE LYSIMETER STATION OF THE FORMER CENTRAL INSTITUTE FOR AGRICULTURAL RESEARCH (C.I.L.O.) AT WAGENINGEN[1]

EQUIPMENT

The lysimeter station of the former Central Institute for Agricultural Research was put into service at the beginning of 1952. The equipment consists of a large number of lysimeters (32), made from iron cylinders, coated with asphalt and suspended entirely free within a concrete pit. The cross section of each cylinder is exactly 1 sq. meter. They are of different depths, numbers 2 to 22 are 100 cm. deep and numbers 23 to 34 are 150 cm. deep. At the bottom of each lysimeter is a drainage bed 25 cm. thick.

The lysimeters can be weighed. They contain three types of unscarified soil with the original turf on top. The soil types used are clay soil from Sneek, peat soil from Kamerik (Utrecht) and sandy soil from Wageningen. The soil surface of the lysimeters is level with the lysimeter field and a grass vegetation has been established around the lysimeters. The lysimeter field is laid out amidst a large area of grassland.

The discharge tube of each lysimeter runs into a cellar, built between the two rows of lysimeters. For each of the lysimeters a rack with two movable shelves has been fixed to the wall in the cellar. A glass gauge is fixed to the upper shelf, and is connected by a rubber pipe to the discharge tube of the lysimeter. Consequently the water level in the gauge is normally the same as the level of the watertable in the lysimeter. The glass gauge has an overflow so that when the watertable rises excess water runs into a measuring flask on the lower shelf. There are two reserve flasks to increase the storage capacity to 30 mm. of water. If the watertable in the lysimeter falls there is a corresponding decrease in the glass gauge and water flows from a flask on the upper shelf (Mariotte equipment). Each flask is horizontal since the gap between the high watertable levels and the roof of the cellar is too small for the flasks to be upright. When the watertable is raised to within 50 cm. of the soil surface the reservoirs must be put out of action in order to place the glass gauge closer to the ceiling. When this adjustment is being made, it is possible that the watertable could drop below the required level. The flasks have a capacity of about 10 litres each and need not be removed for emptying or filling. They are calibrated with a scale which enables rainfall to be read in mm.

The weighing carriage has a beam with sliding weights by means of which each lysimeter can be weighed accurately to 0.5 kg. The weight is printed on a ticket and it is possible to estimate the weight correctly to a tenth of a kg. An error of 0.5 kg. in weighing 3 to 4 metric tons is very small, but represents a precipitation of 0.5 mm. The whole series of lysimeters can be weighed by two men in 1½ hours at the most.

Mr. G. F. MAKKINK gave a detailed description of this lysimeter equipment in *Water* of June 18th, 1953, No. 13, p. 159 to 163.

[1] Sine January 1957 the installation belongs to the Institute of Land and Water Management Research, Wageningen.

THE METEOROLOGICAL EQUIPMENT

The meteorological equipment set up on the lysimeter field in the vicinity of the lysimeters consists of

a. 2 rain-gauges 40 cm. above the soil surface and 3 soil rain-gauges surrounded by a brush mat;

b. a maximum and minimum thermometer, a wet and dry bulb thermometer and a thermo-hygrograph, all at 2 m. in a screen;

c. a weather vane and a Robinson-anemometer 2 m. above the soil surface;

d. 2 evaporation pans, diameter 50 cm, the top sides of which are level with the soil surface, and Piche evaporimeters at 15, 25, 50, 100 and 200 cm. above the soil surface;

e. a maximum and minimum thermometer at a depth of 5 cm. below the soil surface.

Numerous articles have been written about these lysimeters.

A stencilled survey of the principal data is supplied to interested people once a month. A survey entitled: "*De evapotranspiratie van grasland*" compiled by Mr. G. F. MAKKINK, is published in the appropriate annual report of the Central Institute for Agricultural Research; for 1952 on pages 63–66, for 1953 on pages 50–54, for 1954 on pages 121–126, for 1955 on pages 74–79, and for 1956 in the Yearbook of the Institute for Biological and Chemical Resarch of Agricultural Crops. Other publications are: "*Toetsing van de berekening van de evapotranspiratie volgens* PENMAN" (Verification of the calculation of the evapo-transpiration according to PENMAN) in the *Landbouwkundig Tijdschrift* 67 (1955) 267–282; "Actual evapo-transpiration as a function of potential evapo-transpiration and soil-moisture tension" in the *Netherlands Journal of Agricultural Science* 4, No. 1 (1956); "Testing the PENMAN formula by means of lysimeters" in the *Journal of the Inst. of Water Engineers 11* (1957) 277–288, and "Ekzameno de la formulo de PENMAN" in the *Netherlands Journal of Agricultural Science* 5 (1957) 290—305.

GENERAL SURVEY OF OBSERVATIONS

The amount of water used annually in the lysimeters is given in table 7. The consumption of water before March 27th, 1952 is unknown; for the period March 27th–May 2nd, 1952 the consumption is only known for 15 of the lysimeters.

Therefore, for 1952 the data on the consumption of water in these 15 lysimeters are given in table 7 for the period from March 27th, 1952 to April 2nd, 1953. It is possible to determine water consumption for all lysimeters for the period March 1953 to February 1954. This corresponds to the hydrological year, adopted for the other lysimeter-installations, that have been described.

The 12 month period is selected so that the difference in the storage of water at the beginning and the end of the period is only small. Any mistake made in calculating the consumption, as the difference between supplied water and drainage-water, can then be neglected. This is most satisfactory for calculating water consumption for long series of years, but for a single year rather substantial errors may arise. The idea of using a calendar year for Wageningen was rejected and the hydrological year from March to February has been adopted for the sake of uniformity with other installations.

On August 24th, 1954 the cellar of the lysimeter was completely flooded and all lysimeters were full of water for 3 days. Once before, on July 26th, the water had

streamed from above into the recording cellar. The high rainfall in the months of June (102 mm.), July (163 mm. of which 50 mm. fell on July 17th and about 45 mm. on July 24th and 25th), and August (102 mm. of which 26 mm. fell on August 23th) at a time when the soil could not store much more water, was too great for the discharging capacity of the Guelder Valley. Afterwards provisions were made to safeguard against further inundations.

THE CONSUMPTION OF WATER BY GRASSLAND

It is necessary to differentiate between the soil types in the various lysimeters, i.e. clay, peat and sand when the water consumption with a grass cover is considered.

The lysimeters at Wageningen can also be separated into those with a stable watertable and those where the water level varies, being lower in summer. Finally some lysimeters have artifical overhead-irrigation. In the following table of water consumption the lysimeters have been grouped, according to these differences.

WATER-CONSUMPTION OF GRASSLAND

Sandy soil

Year	Stable soil-watertable level 50 cm below the soil-surface	Variable soil-watertable level	Summer soil-watertable level 145 cm below the soil-surface with overhead irrigation
1952	522 (2)	531 (1)	—
1953	601 (2)	558 (3)	576 (3)
1954	572 (6)	544 (2)	—

Peat soil

Year	Stable soil-watertable level 50 cm below the soil-surface	Variable soil-watertable level	Summer soil-watertable level 125 cm below the soil-surface with overhead irrigation
1952	506 (4)	505 (4)	—
1953	567 (4)	526 (6)	577 (2)
1954	594 (5)	581 (5)	618 (2)

Clay soil

Year	Stable soil-watertable level 50 cm below the soil-surface [1] and 70 cm below the soil-surface [1]	Variable soil-watertable level	Summer soil-watertable level 145 cm below the soil-surface with overhead irrigation
1952	469 (2)	485 (2)	—
1953	485 (5)	494 (3)	553 (4)
1954	485 (5)	497 (5)	561 (2)

[1] 50 cm in 1954, 70 cm in 1952 and 1953.
Between ( ) number of lysimeters.

These data have not been collected over sufficient years and little can be concluded from them. Even if weather conditions are ignored and only annual evapotranspiration values are compared, differences between the lysimeters of each soil group are important.

With clay soil, overhead irrigation increased water consumption by grass. With sandy soil the application of overhead irrigation only led to a small increase in water use as compared with lysimeters with a variable soil-watertable level, and this was even lower than for the lysimeter with a stable watertable. With peat soil the overhead irrigation caused a slight increase in water consumption compared with lysimeters with a stable soil-watertable and a much larger increase of evapotranspiration compared to the lysimeters having a variable soil-watertable.

Though the number of observations is only small, the values recorded reveal that the evapotranspiration of grass on clay soil is lower than of grass on peat or sandy soil although the quantity of water added to the soil of the lysimeters (credit items on the water-balance) varied considerably for the different lysimeters.

To make a proper comparison of water loss with grass on the 3 soil types, there needs to be equal supplies of water (equal credit items on the balance). The varying effects of overhead irrigation on water consumption on peat or sandy soil suggests that water is not so readily removed from peat as from sandy soil.

In figure 13 evapotranspiration is plotted against the sum of the rainfall and the water supplied by sub-irrigation and overhead-irrigation, with the 3 types of soil for the years 1952, 1953 and 1954 respectively.

The points in the diagram can be regarded as being grouped along slightly curved lines or in a slightly curved belt, or alternatively for the range between 600 and 1300 mm. of available water in a straight line or in a straight belt.

The number of observations is too small to draw definite conclusions. The evapotranspiration values can only be compared for individual years since if the supply of water is satisfactory, radiation and wind determine the rate of evaporation.

It can be seen from the scatter diagram that a larger quantity of available water results in more evapotranspiration. If a smooth curve is drawn through the points on the diagram, it is possible to determine the rate of waterconsumption by grass on the 3 types of soil, for similar water supplies. This is also possible if we draw straight lines instead of curved ones through the groups of dots. There is a close correspondence between the evapotranspiration from grass on the peat-lysimeters with a stable soil-watertable at Wageningen and that of lysimeter 3 at Oudewetering. From 1949 onward the values for Oudewetering, however, are much higher which is difficult to explain, but several factors may be involved which cannot be evaluated at present.

For the peat lysimeters with a constant soil-watertable level at Wageningen, (V9c–VI2c) the evapotranspiration was on the average 1.61 mm. per 24 hours both in 1953 and 1954. This corresponds closely with the average consumption at Oudewetering. The average annual consumption of water with grass on peat soil, with a good water supply is therefore approx. $365 \times 1.61 = 584$ mm.

Some data on evapotranspiration, rainfall, sub-irrigation, drain-flow and air-

temperature during the months of April 1952 to July 1954 for Oudewetering (lysimeter 3) = O and for Wageningen (lysimeter 9c to 12c) = W, are given below:

Year and month	Evapotranspiration (E) mm		Precipitation (rainfall) (R) mm		Sub-irrigation (I) mm		Drain-flow (D) mm		Average air temperature at daytime °C		Consumption in mm in the period April to July	
	O	W	O	W	O	W	O	W	O	W	O	W
1952												
April	69	55	26	21	52	14	9	15	11.8	13.0		
May	112	72	22	20	90	43	—	—	14.7	15.4	407	309
June	106	84	72	85	42	18	8	11	16.6	17.3		
July	120	98	70	85	60	32	10	4	18.6	19.6		
August	91	67	64	85	42	15	15	21	18.5	18.9		
September	77	48	143	40	18	22	84	1	12.9	13.0		
October	27	16	92	68	—	—	65	39	9.2	9.2		
November	21	– 2	122	83	—	—	101	92	3.7	3.4		
December	– 5	– 9	83	94	—	—	88	95	1.9	1.9		
1953												
January	1	2	15	23	—	4	14	20	1.9	1.5		
February	– 4	34	63	107	—	—	67	64	3.0	2.9		
March	31	37	13	14	18	8	—	1	5.7	6.3		
April	61	69	51	60	30	14	20	19	9.4	11.0		
May	105	96	27	36	78	46	—	—	14.2	12.0	362	347
June	78	86	103	75	18	28	43	8	17.2	15.5		
July	118	96	64	74	54	32	—	4	15.0	15.9		
August	103	78	119	124	42	24	58	50	14.9	15.6		
September	62	63	63	38	24	22	25	2	12.8	13.6		
October	14	22	8	9	6	16	—	—	12.1	12.6		
November	18	7	25	17	—	2	7	2	9.5	9.3		
December	13	1	48	49	—	—	35	41	8.5	8.5		
1954												
January	9	7	49	57	—	2	40	49	0.6	0.2		
February	19	6	44	35	—	?	25	?	– 0.1	0.1		
March	0	26	51	30	—	6	51	75	5.7	7.1		
April	59	77	16	26	52	41	9	14	7.9	8.9		
May	87	121	40	36	57	61	10	9	14.2	15.3	352	377
June	102	95	79	102	39	24	16	19	17.3	17.2		
July	104	84	145	168	27	26	68	94	15.7	16.0		

The comparable figures for the second half of 1954 have not been included, because of the inundation of the lysimeter equipment at Wageningen in September.

The difference in waterconsumption between Oudewetering and Wageningen decreases in time and the apparent evapotranspiration at Oudewetering from April to July 1952, was almost 100 mm. more than the evapotranspiration at Wageningen. The difference was not more than 15 mm. during the same period in 1953, whilst in 1954 the evapotranspiration at Wageningen was 25 mm. more than at Oudewetering

for these months. The same applies to data for the growing season of the crop i.e. April to September.

	Oudewetering Apparent evapotranspiration	Wageningen	
		Actual evapotranspiration	Apparent evapotranspiration
1952	575 mm	424 mm	427 mm
1953	527 mm	488 mm	487 mm
1954	506 mm	509 mm	495 mm

In the case of Wageningen the apparent evapotranspiration in 1954 has been calculated by adding the calculated evapotranspiration of August and September to the measured value for April to July. The exact amount of water supplied by sub-irrigation and removed as outflow of drainage-water was unknown because of the inundation in August and September.

The phenomenon of decreasing evapotranspiration at Oudewetering during the years 1952–1954 and the increasing evapotranspiration at Wageningen during the same three years cannot be explained by the fact the surroundings are quite different. At Wageningen there is a very wide border of grassland as opposed to Oudewetering where no grassy area surrounds the lysimeters and buildings are situated a short distance away and probably reflect radiation.

The grass is cut at Oudewetering every 5 weeks and at Wageningen every 4 weeks in 1952 and 1953 and then every 5 weeks in 1954. The phenomenon cannot be explained by these different treatments. If the change in evapotranspiration is not entirely accidental, it could be attributed to the growth of the grass. For instance, at Oudewetering the sward may be deteriorating and when the height of the grass crop decreases, evapotranspiration may also be reduced. During mid-May in 1953 the grass on lysimeter 3 with a stable soil watertable level at Oudewetering was short and of a yellowish green colour, whilst in comparison the grass on lysimeter 4 with a free outflow was dark green and more than twice as high. Perhaps the soil (moisture content) plays a part.

Calculation of the apparent evapotranspiration

At Wageningen a change in the moisture content of the soil can be determined by weighing. The same also applies to the lysimeters of the Horticultural Division of the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food at Wageningen, but in the Rottegatspolder and the drainage-lysimeter field in that polder such a change can only be determined from soil-moisture samples. With the other lysimeters that have been described the apparent evapotranspiration can only be calculated by subtracting the outflow of drainage-water from the sum of precipitation and the water supplied by sub-irrigation. Each year the calculated apparent evapotranspiration may differ rather considerably from the actual evapotranspiration.

The quantities of water consumed per lysimeter, calculated by weighing, together with the apparent evapotranspiration for the period March 1953 to February 1954 are given in table 7.

For the 32 lysimeters as a whole, the difference is not very large. Thus an average value of 541 mm. is obtained per lysimeter for the actual consumption and of 551 mm. for the consumption calculated as R+I — D, a difference of 10 mm. or nearly 2 per cent, which is acceptable [1]. If we consider the results of the lysimeters separately, however, we find a difference with:

5 of the 32 lysimeters <1 %	2 of the 32 lysimeters 5– 6 %
4 of the 32 lysimeters 1–2 %	3 of the 32 lysimeters 6– 7 %
5 of the 32 lysimeters 2–3 %	3 of the 32 lysimeters 7– 8 %
1 of the 32 lysimeters 3–4 %	2 of the 32 lysimeters 8– 9 %
5 of the 32 lysimeters 4–5 %	1 of the 32 lysimeters 9–10 %
	and 1 of the 32 lysimeters 10–11 %

When considering the difference between the three soil types expressed as percentages of the actual consumption, we find:

	a) R + I — D larger than the actual consumption	*b)* R + I — D smaller than the actual consumption	*c)* a + b together
Sand lysimeters. . .	2 %	1 %	1 %
Peat lysimeters . . .	3 %	1.5 %	1.5 %
Clay lysimeters. . .	4 %	1 %	3 %

The water reserve in the soil has increased for *a)* and has decreased for *b)*.

The error appears to be least with the sand lysimeters and this is related to the fact that less moisture is available to plants growing on sand than on clay and peat.

For dune-sand, where soil water is only a few per cent of the sand volume, the error in calculating evapotranspiration by the formula R+I — D, is small and can be neglected.

[1] There are two lysimeters (30 K and 32 K) which may run over during winter and produce an excessive evapotranspiration. This mistake, however, is also made with the calculated evapotranspiration.

VII. THE LYSIMETERS OF THE HORTICULTURAL DIVISION OF THE DEPARTMENT OF AGRICULTURE AT WAGENINGEN

These lysimeters (evapo-transpirometers) were erected in 1951 and 1952 at Heemskerk, in the experimental garden "De Duinstreek van Holland" (The Dune Region of Holland), and moved from there to Wageningen.

CONSTRUCTION

The lysimeters are 5 tanks, the internal measurements of 4 being 140×125×90 cm. and of the 5th (the smallest) 125×125×90 cm. The walls and bottom are made of sheet iron, 2 mm. thick, with the joints welded together. An angle iron, shaped thus ⌐, is fixed on the top of the walls and has the following dimensions 20×20×3 mm.

When the tanks were made weighable at Wageningen, they had to be specially strengthened. The outlet for the percolating drainage water is in the centre of one of the longest sides, the discharge tube being flush with the bottom of the lysimeter. The soil watertable can be controlled and kept at a constant level by apparatus based on the principle of Mariotte's flask.

FILLING

At Heemskerk the tanks were filled up to the brim with dune-sand from the experimental garden and beneath this there was a shallow layer of gravel 8 cm. thick.

At Wageningen the layer of gravel is about 10 cm. deep (300 kgs. in the large tanks, 268 kgs. in the small one), overlain by a layer of coarse sand of about 15 cm. thick (450 kgs. in the large tanks, 412 kgs. in the small one) and on top of this is sandy soil from the Drijen (former open common field – Wageningen). The sandy soil has been put in layer by layer, 10 cm. at a time, and pressed down by treading. After filling, the soil was saturated with water from below upwards until the water rose above the soil surface. The water was then drained off.

GROUND-WATER

At Heemskerk a watertable level at 80 cm. from the surface was maintained for a year in 2 of the large tanks (1 and 3). In the other 2 large tanks (2 and 4) the soil watertable during summer was 80 cm. below the surface but during winter only 40 cm. In the small tank the soil watertable level was kept 60 cm. below the surface throughout the year.

At Wageningen the level of the soil watertable in all the tanks fell from 40 to 75 cm. below the soil surface between April 15th and June 17th in 1953, but afterwards was maintained at a distance of 75 cm. from the surface.

In 1954 the water level was maintained at 75 cm. from the soil surface in tanks 1, 2 and 3 and at 60 cm. below the surface in tanks 4 and 5.

VEGETATION

1951 – *Heemskerk:*

Tanks 1–4 were planted with strawberries, 8 plants per plot, which developed into a closed vegetation. Tank 5 (the small one) was planted with lettuce.

1952 – *Heemskerk:*

The strawberries planted in 1951 were left on tanks 1–4 and on tank 5 carrots were sown, but these were attacked by carrot fly during the growing season.

1953 – *Wageningen:*

Tanks 1, 2 and 3 were planted with potatoes, variety „Eersteling", with a second crop of French beans, variety "stringless Dubbele Witte" (Double White).

Tanks 4 and 5 were left fallow.

1954 – *Wageningen:*

Beetroot, variety Gladore P 1950, was grown on all tanks as second crop after endive, variety No. 5.

MANURIAL TREATMENT

In 1952 old decayed stable manure was applied with a supplementary dressing of 150 grms. of nitrate of lime; 150 grms. of nitrochalk + 150 grms. of potash-magnesium sulphate were applied on tanks 1, 2 and 3 in 1953 and in 1954 all tanks were given organic manure+nitrochalk, superphosphate and potash-magnesium sulphate.

CONSUMPTION OF WATER

A survey of the water consumed by the various crops per lysimeter-tank during the growing season is given in table 8.

During the growing season the average consumption (evapotranspiration) per 24 hours was:

Crop	Growing season	Number of days	Evapotranspiration (consumption) per 24 hours in mm
Strawberries	April 21th–October 25th, 1951	187	1.91
Lettuce	as above	187	1.71
Strawberries	April 11th–October 21th, 1952	193	1.95
Carrots	as above	193	1.80
Potatoes	April 15th–July 22th, 1953	99	2.59
French beans	July 23th–October 6th, 1953	75	1.91
Potatoes + French beans	April 15th–October 6th, 1953	174	2.30
Beetroots	April 6th–July 23th, 1954.	108	2.20
Endive	August 7th–October 12th, 1954	66	1.66
Fallow	April 15th–July 22th, 1953	99	1.29
ditto	July 23th–October 6th, 1953	75	1.41
ditto	April 15th–October 6th, 1953	184	1.34

Of the crops mentioned above, only potatoes have been grown both on the lysimeters at Groningen and on the drainage lysimeter field. At Groningen, the growing season was much longer (May to August or September), and therefore a comparison of the two is of little value. In 1954 potatoes were also grown on the lysimeters a

Groningen and the growing season lasted from April 23th to September 1st, that is for 131 days. The consumption of water per 24 hours, averaged for the 8 lysimeters, was 2.04 mm. In the chapter on the Rottegatspolder the consumption data per 24 hours of potatoes have also been given for other years.

The evaporation from the fallow sand soil during the period April 15th to October 6th in 1953 was 242.5 mm. associated with a watertable level falling from 40 to 75 cm. from the soil surface. The apparent evaporation from the dune sand in lysimeter I at Castricum in the months April to September 1953 was 163.6 mm. the level of the watertable being 225 cm. below the soil surface. These data do not permit any definite conclusions. The total quantity of precipitation during the months of April to September was almost the same (407 mm. at Wageningen, 399 mm. at Castricum), but the distribution of precipitation over the various months was very different. There were also considerable differences between the level of the soil watertables. Consequently, a comparison between the evaporation from the two types of sandy soil cannot be made.

RESUMO

Tio ĉi raporto donas priskribon de la lizimetraroj en Nederlando. La rezultoj de la observadoj estas kunmetitaj en pluraj tabeloj; en la plimulto ciferoj pri jarkvantoj de falaĵo, drenakvo kaj elvaporiĝo estas donitaj, en kelkaj tabeloj sciaĵoj pri la kreskoperiodo de la kulturitaj kreskaĵoj. La precipaj sciaĵoj pri la konstruo kaj la aranĝo estas en tabelo. Ĉe la priskriboj de la lizimetraroj la koncerna literaturo estas menciita.

La lizimetroj de la antaŭa Centra Instituto por Agrikultura Esplorado en Wageningen (VI) servas por esplori la akvokonsumadon de herbejoj kaj la influon de la terakvonivelo sur la produktado de greso.

La lizimetroj en Castricum (I) kaj en Leiduin (III), situantaj en la dunregionoj de entreprenoj por akvodistribuado, celas unue por konstati kiom granda estas la parto de la falaĵo (t.n. utila falaĵo) alfluanta al la terakvo. La lizimetroj en Castricum ankaŭ celas studi kiel la surarbarigo de la duntereno influas la kvanton de utila falaĵo, speciale koncerne koniferarbaron en komparo kun foliarbaro.

La lizimetroj de la drendistrikto Rijnland en Oude Wetering (IV) estas uzataj por akiri direktojn por la elmuelado aŭ enlasado de akvo el aŭ en la polderon.

La lizimetroj de la Ŝtata Agrikultura Eksperimentejo en Groningen (II) estas konstruitaj por ebligi la kunmeton de akvobilancoj kaj ankaŭ por studi la bilancojn de substancoj gravaj por kulturplantoj, la ellaviĝadon kaj la muljuniĝadon de kulturtero. Dum la jaroj la plioftaj kulturkreskaĵoj estas kulturitaj, kelkaj el ili plurfoje.

La drenlizimetra kampo (1½ ha) en Rottegatspolder (V) servas por studi laŭ diversaj metodoj la elvaporiĝon. Ĝi ampleksas 4 lizimetrojn, ĉiuj havantaj ĉirkaŭan lignan vandon de 40 ĝis 340 cm sub la tersupraĵo. La eksperimenta kampo estas kulturata laŭ la kutima maniero (rotacia kulturado). Rottegatspolder (86,6 ha) havas argilan teron de dikeco de pluraj metroj kaj ĝi estas pligrandparte kovrita per kulturkampoj. Oni elektis ĉi tiun polderon por la studado pro la foresto de fontado.

La lizimetroj de la ĝardenkultura sekcio de la Agrikultura Ministerio en Wageningen (VII) celas havigi sciaĵojn pri la akvokonsumado de diversaj ĝardenkreskaĵoj kaj pri la rilato inter produktado kaj akvoreĝimo.

Nomo	Observado ek de	Mezuroj		Terakvonivelo
		Areo m²	Profundeco m	m
I. Castricum I	1942	625	2,50	konstante je – 2,25
II				
III				
IV				
II. Groningen				ne; de okt. '36 n-roj
n-roj 1–8	1919	0,89	1,40	je – 1,00 aŭ pli profu
III. Leiduin				
1. Boogkanaal.	1929	1,00	1,25	ne
2. Oranjekom	1929	1,00	1,25	ne
3. Zwarteveld W.	1944	1,91	5,00	je – 4,50
4. Zwarteveld O	1944	1,91	5,00	je – 4,50
5. van Stirumkanaal	1929	1,00	1,25	ne
IV. Oude Wetering 1.	1942	1	1,03	je – 0,63
2.				ne
3.				je – 0,63
4.				ne
V. Rottegatspolder	1943	86,6 ha	—	ŝanĝiĝanta
Drenlizimetroj				
n-roj 1–4	1950	625	0,93	je – 0,80
VI. Wageningen CILO			20 ekz. 1,00	kelkaj konstanta,
n-roj 1–32	1952	1	12 ekz. 1,50	aliaj variigata nivelo
VII. Wageningen				
sekcio ĝardenkulturo				
n-roj 1–4	1951	1,75	0,90	diversaj niveloj
n-ro 5	1951	1,56		

Grundo		Kreskaĵo	Observado	Notoj
Speco	Aranĝo			
nsablo	enfosita	ne natura dunvegetacio foliarbaro pinarbaro	tage	
)la ırargilo	enfosita	diversaj kulturkreskaĵoj, plue 5 jaroj greso kaj 5 jaroj sen kreskaĵo	tage	Konstruita super la tersupraĵo, randzonoj kun sama kreskaĵo.
nsablo	enfosita	natura vegetacio, t.e. malriĉa herbaĵo	semajne	Lizimetro 2 translokita en 1953.
moza nsablo 'fgrundo	enfosita	bulbfloroj greso	tage	
;ilo	natura	75 % kulturkampoj, 13 % greskampoj, 12 % vojoj, domoj, ktp.	tage	Ŝanĝiĝoj en la grundakvokvanto determinataj per grundspecimenoj.
;ilo	natura	rotacia kulturado	tage	
ablo, torfgr., argilo	natura	originala greskovraĵo; de okt. 1955 lizimetroj kun torfo solkulturo de Lolium perenne	tage	Peseblaj. Ĉe kelkaj lizimetroj surverŝado en la somero.
)lo	enfosita	ĝardenkreskaĵoj	tage	Peseblaj. Observado nur dum la kreskperiodo.

TABLE 1. The lysimeter-installation of the Provincial Water Works of North Holland at Castricum

Year extending from March to February	Precipitation = R Rain-gauge at ground level mm.	Lysimeter I no vegetation				Lysimeter II natural dune vegetation				Lysimeter III hardwoods				Lysimeter IV black pine				E_o mm.	Remarks
		Drainage D		R–D		Drainage D		R–D		Drainage D		R–D		Drainage D		R–D			
		mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R	mm.	% of R		
1942	985	789	80,1	196	19,9	691	70,2	294	29,8	774	78,6	221	21,4	777	78,9	208	21,1	—	R–D =
1943	659	468	71,0	191	29,0	322	48,9	337	51,1	395	60,0	264	40,0	430	65,3	229	34,7	—	apparent
1944	934	742	79,4	192	20,6	600	64,2	334	35,8	664	71,1	270	28,9	671	71,8	263	28,2	—	evapo-
1945	861	617	71,7	244	28,3	482	56,0	379	44,0	525	61,0	336	39,0	520	60,4	341	39,6	—	ration
1946	712	533	74,9	179	25,1	385	54,1	327	45,9	444	62,4	268	37,6	420	59,0	292	41,0	609	and eva-
1947	750	594	79,2	156	20,8	445	59,3	305	40,7	465	62,0	285	38,0	411	54,8	339	45,2	717	po-trans-
1948	534	319	59,7	215	40,3	116	21,7	418	78,3	151	28,3	383	71,7	76	14,2	458	85,8	642	piration
1949	805	609	75,7	196	24,3	368	45,7	437	54,3	420	52,2	385	47,8	292	36,3	513	63,7	630	
1950	1124	862	76,7	262	23,3	580	51,6	544	48,4	613	54,5	511	45,5	480	42,7	644	57,3	615	
1951	967	762	78,8	205	21,2	484	50,1	483	49,9	510	52,7	457	47,3	372	38,5	595	61,5	589	
1952	688	689	79,4	179	20,6	417	48,0	451	52,0	435	50,1	433	49,9	274	31,6	594	68,4	608	
1953	602	395	65,6	207	34,4	135	22,4	467	77,6	166	27,6	436	72,4	27	4,5	575	95,5	589	
1954	899	708	78,8	191	21,2	393	43,7	506	56,3	458	50,9	441	49,1	200	22,2	699	77,8	552	

TABLE 2. The lysimeter-installation of the Provincial Water Works of North Holland at Castricum

Year	Evaporation from the evaporation pan near lysimeter		Apparent evaporation from the bare soil in lysimeter I mm.	Apparent evaporation + transpiration + interception black pine stand on lysimeter IV mm.	Apparent evaporation from the forest soil lysimeter IV mm.	Transpiration + interception black pine stand on lysimeter IV mm.	Height of the black pines lysimeter IV cm.	Remarks
	I no vegetation mm.	IV black pine mm.						
1942	notrecorded	notrecorded	196	208	—	—	13	It is assumed that the relationship between the evaporation from the soil in lysimeter IV and from the soil in lysimeter I is the same as that between the evaporation from the evaporation pan in the strip of pines around lysimeter IV and from the evaporation pan near lysimeter I.
1943	notrecorded	notrecorded	191	229	—	—	23	
1944	notrecorded	notrecorded	192	263	—	—	30	
1945	832	654	244	341	192	149	44	
1946	884	690	179	292	140	152	50	
1947	1125	797	156	339	140	229	80	
1948	972	609	215	458	135	323	125	
1949	915	550	196	513	118	395	170	
1950	825	376	262	644	119	525	220	
1951	906	369	205	595	83	512	265	
1952	1024	386	179	594	67	527	310	
1953	886	315	207	575	74	501	350	

TABLE 3. The lysimeter-installation of the Agricultural Experimental and Research Station and the Soil-Science Institute T.N.O. at Groningen

Year extending from March to February	Crop	Date of planting or sowing	Date of harvesting	Total dry yield g/m²	Precipitation = R [1] mm.	Drainage water = D 1–4 mm.	Drainage water = D 5–8 mm.	R—D 1–4 mm.	R—D 5–8 mm.	R—D 1–8 mm.	E_o mm.	Remarks
1919	potatoes	23/4	26/9	631	735	232	277	503	458	481	—	[1] Rain-gauge at a height of 150 cm.
1920	oats	30/3	12/8	968	628	139	114	489	514	502	—	R—D = apparent evapotranspiration.
1921	winter wheat	28/9/1920	21/7/1921	1493	482	11	9	471	473	472	—	
1922	green peas	15/3	14/8	543	696	207	179	489	517	503	—	
1923	fodder beets	9/5	29/10	1405	732	306	298	426	434	430	—	[2] The grass has been cut
1924	summer wheat	8/4	8/9	1187	692	124	77	568	615	592	—	17/6 - 11/7 - 4/8 - 10/9 -
1925	flax and red clover	15/4	24/7	1201	773	256	237	517	536	527	—	1941.
		15/4	17/10									21/5 - 2/7 - 17/8 - 1942
1926	red clover	—	28/7 and 12/10	1735	727	114	120	613	607	610	—	6/5 - 28/7 - 1943.
1927	potatoes	28/4	1/9	1220	855	412	405	443	450	447	—	24/5 - 8/7 - 15/9 - 1944
1928	oats	12/4	27/8	1224	593	64	39	529	554	542	—	15/5 - 16/7 - 27/9 - 1945
1929	mustard seed	10/5	3/9	690	590	75	46	515	544	530	—	[3] Rye-grass. White clover has been sown on 4th September 1943.
1930	green peas	7/3	18/7	637	925	439	420	486	505	496	—	
1931	winter wheat	24/9/1930	6/8/1931	1437	766	230	206	536	560	548	—	
1932	oats	18/3	18/8	963	781	246	229	535	552	544	—	[4] First barley has been sown on 4th April, damaged by wire worms.
1933	potatoes	19/4	7/10	1559	617	82	71	535	546	541	—	
1934		—	—	—	754	407	402	347	352	350	748	
1935		—	—	—	757	442	431	315	326	321	760	[5] First beans have been sown on 31st May, damaged by wire worms.
1936	uncultivated	—	—	—	861	449	556	412	305	359	660	
1937		—	—	—	697	416	454	281	243	262	618	
1938		—	—	—	679	364	365	315	314	315	697	[6] The foliage (137 g.) included.
1939	sugar beets	27/4	3/10	2167	645	72	86	573	559	566	709	
1940	canary seed	17/4	3/9	899	896	198	206	698	690	694	646	
1941	grass	8/4	[2]	1496	621	164	176	457	445	451	687	
1942				737	808	328	322	480	486	483	725	
1943	grass and white clover [3]	9/4		634	638	111	91	527	547	537	740	
1944				1065	982	346	362	636	620	628	685	
1945				958	837	251	246	586	591	589	695	
1946	oats	10/4	21/8	515	631	194	225	437	406	422	712	
1947	potatoes [4]	13/5	2/9 and 3/9	1404	842	213	270	629	572	601	842	
1984	summer wheat	23/3	27/8	1007	610	84	44	526	566	546	750	
1949	linseed	25/4	13/8	1125	783	257	224	526	559	543	735	
1950	mustard seed [5]	3/6	13/10	397	988	558	459	430	529	480	725	
1951	maize	5/5	5/11	1130	738	335	328	403	410	407	721	
1952	winter wheat	12/11/1951	31/7/1952	1144	774	335	335	439	539	439	667	
1953	sugar beets	14/4 and 15/4	9/10	2019	683	141	134	542	549	546	688	

TABLE 4. The lysimeters at Oudewetering (Waterboard of Rijnland)

Year extending from March to February	Precipitation = R rain-gauge at 0.40 m. above soil surface	Lysimeter I prime bulb soil					Lysimeter II prime bulb soil				Lysimeter III black earth (peat soil)					Lysimeter IV black earth (peat soil)				E_a mm.
		Sub-irrigation = I mm.	Drainage water = D		R+I—D		Drainage water = D		R—D		Sub-irrigation = I mm.	Drainage water = D		R+I—D		Drainage water = D		R—D		
			mm.	percentage of R+I	mm.	percentage of R+I	mm.	percentage of R	mm.	percentage of R		mm.	percentage of R+I	mm.	perdentage of R+I	mm.	percentage of R	mm.	percentage of R	
1943	667	148	361	44,3	454	55,7	333	49,9	334	50,1	297	422	43,8	542	56,2	111	16,6	556	83,4	—
1944	909	78	620	62,8	367	37,2	605	66,6	304	33,4	266	609	51,8	566	48,2	385	42,4	524	57,6	—
1945	770	4	408	52,7	366	47,3	426	55,3	344	44,7	122	444	49,8	448	50,2	174	22,6	596	77,4	—
1946	664	121	312	39,7	473	60,3	352	53,0	312	47,0	121	257	32,7	528	67,3	—	—	—	—	—
1947	767	193	466	48,5	494	51,5	402	52,4	365	47,6	207	417	42,8	557	57,2	—	—	—	—	884
1948	569	86	228	34,8	427	65,2	208	36,6	361	68,4	252	238	29,0	583	71,0	—	—	—	—	775
1949	709	78	466	59,2	321	40,8	379	53,5	330	46,5	468	415	35,3	762	64,7	—	—	—	—	792
1950	998	122	615	54,9	505	45,1	595	59,6	403	40,4	210	529	43,8	679	56,2	—	—	—	—	770
1951	826	165	563	56,8	428	43,2	436	52,8	390	47,2	260	456	42,0	630	58,0	—	—	—	—	761
1952	825	114	542	57,7	397	42,3	476	57,7	349	42,3	304	486	43,0	643	57,0	—	—	—	—	769
1953	614	190	299	37,2	505	62,8	177	28,8	437	71,2	270	253	28,6	631	71,4	—	—	—	—	792
1954	891	162	584	55,5	469	44,5	543	60,9	348	39,1	202	525	49,9	568	50,1	—	—	—	—	742

TABLE 5. Rottegatspolder

Lysimeter	Period	Number of days	Precipitation = R [1]	Inlet = I	Discharge = D	Increase of the water supply in the soil = G	Increase of the water held by the ditches = S	Evapo-transpiration E=R+I—D—G—S				Vegetation
								In total		Daily (per 24 hours)		
								in about a whole year	in the growing seasen	in about a whole year	in the growing season	
		(24 h.)	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
Rottegats-polder 86,6 ha	1/ 4-1948— 5/10-1948	187	462	—	26	—18	+3		451		2,41	59% of the land was arable, 29% was in grass and the other 12% was classified as „miscellaneous"
	5/10-1948— 4/10-1949	364	543	15	137	—63	—2	486		1,34		
	31/ 3-1949— 4/10-1949	186	327	15	23	—79	—2		400		2,15	as above
	4/10-1949— 2/10-1950	363	1012	6	388	+21	+6	603		1,66		
	19/ 5-1950— 2/10-1950	138	444	2	91	+2	0		353		2,56	as above
	1/10-1950— 4/10-1951	368	?	?	?	?	?	491		1,33		
	19/ 4-1951— 4/10-1951	168	278	16	21	—71	—4		348		2,17	as above
	4/10-1951— 4/11-1952	397	874	12	265	+79	+2	540		1,36		
	10/ 4-1951— 4/11-1952	208	472	12	37	— 2	+1		448		2,15	75% arable, 13% in grass, 12% miscellaneous
	4/11-1952—27/10-1953	357	798	5	359	—22	+1	465		1,30		
	6/ 5-1953—27/10-1953	174	438	5	67	+ 1	+2		373		2,14	as above
	27/10-1953— 3/11-1954	372	795	4	309	+39	—2	452		1,24		
	5/ 5-1954— 3/11-1954	182	570	4	159	+63	+2		350		1,92	as above

[1] 8-rain-gauges at 0.40 m. above soil surface, one in English setting.

TABLE 6. Rottegatspolder

Lysimeter	Period	Number of days	Precipitation = R	Inlet = I	Discharge = D	Increase of the water supply in the soil = G	Evapo-transpiration E = R+I—D—G				Remarks
							In total		Daily (per 24 hours)		
							in about a whole year	in the growing season	in about a whole year	in the growing season	
		(24 h.)	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
Drainage-lysimeter-field 4 experimental plots, each 25 m square	17/ 5-1950— 3/10-1950	139	461	45	142	+10		354		2.55	Barley, sown in April, harvested on 12th Aug., the field ploughed tierce in Sept.
	3/10-1950— 2/10-1951	364	777	22	415	—22[1]	406		1		Potatoes planted May 9th and 10th, came up May 25th, lifted Sept. 27th.
	2/ 5-1951— 2/10-1951	153	276	22	29	—10		279		1,82	
	2/10-1951— 1/10-1952	364	800	103	323	+58	522		1,43		Winterwheat sown after digging potatoes, harvested in Aug., the field ploughed in Sept., afterwards fallow.
	1/ 3-1952— 1/ 8-1952	153	295	97	37	— 2		357		2,33	
	4/12-1951— 1/ 8-1952	241	496	97	220	+ 7		366		1,52	
	30/10-1952—29/10-1953	364	799	18	380	—11	448		1,23		Winter-barley came up on 30th March. Harvested on 22nd July. After that clover was sown.
	4/ 5-1953—29/10-1953	178	435	18	87	0		366		2,06	
	26/ 3-1953—29/10-1953	217	545	18	143	— 1		421		1,94	
	29/10-1953— 1/11-1954	368	768	2	340	+ 5	425		1,15		In April 1954 clover damaged by frost. Potatoes planted on 28th and 29th April, came up 11th june, harvested from 29th Sept. on. After that fallow.
	2/ 4-1954— 7/10-1954	188	516	0	179	+ 3		334		1,77	

[1] Data about increase of soil moisture content not available.

TABLE 7. The lysimeter-station of the former Central Institute for Agricultural Research (C.I.L.O.) at Wageningen

Number of the lysimeter and species of soil	From 27/3-1952 till 2/4-1953			From 1/3:1953 till 1/3-1954					From 1/1-1954 till 1/1-1955			Remarks
	water-table stable (c) or variable (v)	R+I+SP [1] mm.	evapotranspiration (actual) mm.	water-table stable (c) or variable (v)	R+I+Sp [1]	Drainagewater mm.	R+I+Sp—D mm.	evapotranspiration (actual) mm.	water-table stable (c) or variable (v)	R+I+Sp—D mm.	evapotranspiration (actual) mm.	
2 s	c	1214	543	c	1096	433	663	624	c	1301	583	[1] R = precipitation, I = sub-irrigation, Sp = overhead irrigation
3 s	v	887	531	v	738	170	568	564	c	1123	547	Precipitation 27/3-1952—2/4-1953 723 mm
4 s	c	1160	500	c	1046	444	602	578	c	1299	590	1/3-1953—1/3-1954 588 mm
5 p	v	870	515	v	794	220	574	560	c	1183	612	1/1-1954—1/1-1955 885 mm
6 p	v	882	493	v	712	211	501	486	v	999	592	Stable water-table: sand and peat 50 cm
7 p	v	826	528	v	716	184	532	543	v	1024	653	from the soil surface, clay 70 cm from the
8 p	v	854	483	v	708	211	497	506	v	994	570	surface.
9 p	c	888	514	c	794	175	619	592	c	1135	617	Variable water-table: in summer more
10 p	c	890	495	c	808	196	612	581	c	1177	593	than 50 cm resp. 70 cm from the soil
11 p	c	877	502	c	761	172	589	544	c	1035	576	surface.
12 p	c	866	513	c	767	160	807	550	c	1079	571	Overhead irrigation (Sp):
13 c	v	759	493	c	637	133	504	516	c	1000	535	1953
14 c	v	754	477	v	640	118	522	496	v	903	442	20 s 197 mm 29 c 198 mm
15 c	c	778	469	c	618	129	489	457	c	959	461	21 s 253 mm 30 c 151 mm
16 c	c	759	469	c	628	146	482	462	c	977	482	24 s 202 mm 31 c 226 mm
17 c				c	661	153	508	486	c	951	471	25 p 180 mm 32 c 203 mm
18 c				c	648	108	540	506	c	946	478	26 p 227 mm
20 s				v Sp	872	332	540	575	c	1263	540	1954
21 s				v Sp	948	346	602	585	c	1244	588	25 p 318 mm 29 c 192 mm
22 s				v	796	223	573	571	c	1273	582	26 p 236 mm 31 c 192 mm
23 s				v	679	133 [2]	546	540	v	929	527	The sub-irrigation (I) was necessary for
24 s				v Sp	898	343	555	569	v	969	560	maintaining a stable soil water-table.
25 p				v Sp	747	317	530	572	v Sp	1245	631	Depth of the lysimeters above the drainage-
26 p				v Sp	894	306	588	583	v Sp	1186	604	bed
27 p				v	702	192 [2]	510	516	v	936	538	2-22 100 cm
28 p				v	712	193	519	544	v	930	551	23-34 150 mm
29 c				v Sp	798	290 [2]	508	549	v Sp	1008	558	R+I+Sp—D = apparent evapo-transpiration
30 c				v Sp	747	157 [2]	590	541	v	886	510	[2] not reliable.
31 c				v Sp	840	278	562	555	v Sp	1111	563	
32 c				v Sp	796	177 [2]	619	568	v	898	553	
33 c				v	622	148	474	475	v	896	447	
34 c				v	633	128	505	510	v	900	523	

TABLE 8. The lysimeters of the Horticultural Division of the Department of Agriculture at Wageningen

Location	Year	Number of the tank	Crop	Date of		Consumption of water in mm.								
				Planting or Sowing	Harvesting	During the growing season	Number of days	Number of the tank					Average	
								1	2	3	4	5	in total	per 24 hours
Heemskerk	1951	1–4	strawberries	first half of April	first crop in 1952	21/4-25/10	187	353,2	368,2	368,5	338,2	—	356,5	1,9
		5	lettuce	as above	?	21/4-25/10	187	—	—	—	—	319,0	319,0	1,7
Heemskerk	1952	1–4	strawberries	1951	10/6, 24/6 and 28/6	11/4-21/10	193	—	—	—	—	—	376,7	2,0
		5	carrots	27/5	5/7 and 17/9	11/4-21/10	193	—	—	—	—	347,3	347,3	1,8
Wageningen	1953	1–3	potatoes	15/4	22/7	15/4-22/7	99	279,5	236,6	254,3	—	—	256,8	2,6
		4 and 5	fallow	—	—	15/4-22/7	99	—	—	—	127,9	127,9	127,9	1,3
Second crop	1953	1–3	French beans	23/7	6/10	23/7-6/10	75	157,6	145,4	126,4	—	—	143,1	1,9
		4 and 5	fallow	—	—	23/7-6-10	75	—	—	—	97,6	114,6	106,1	1,4
Wageningen	1954	1–5	beetroots	22/3	2/7 and 23/7	6/4-23/7	108	202,8	293,1	228,9	243,9	217,7	237,3	2,2
	1954	1–5	endive	4/8	12/10	7/8-12/10	66	107,7	120,4	112,6	94,8	112,4	109,6	1,7

Precipitation (soil rain-gauge) in mm.

Place	Castricum		Wageningen (Binnenveld)	
Month	1951	1952	1953	1954
March	91	60	14	30
April	81	17	60	26
May	34	23	36	36
June	70	69	75	102
July	59	39	74	168
August	126	81	124	121
Sept.	105	176	38	79
Oct.	22	113	9	84

Rainfall recorded in the experimental garden of the Horticultural Division of the Department of Agriculture at Wageningen in mm.

Month	Soil rain-gauge		Rain-gauge at 40 cm above soil surface	
	1953	1954	1953	1954
March	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
April	n.r.	20	n.r.	32
May	23	38	22	37
June	fl.	100	118	96
July	66	166	71	155
August	107	122	103	116
Sept.	38	97	37	90
Oct.	9	111	8	87

n.r. = not recorded
fl. = flooded

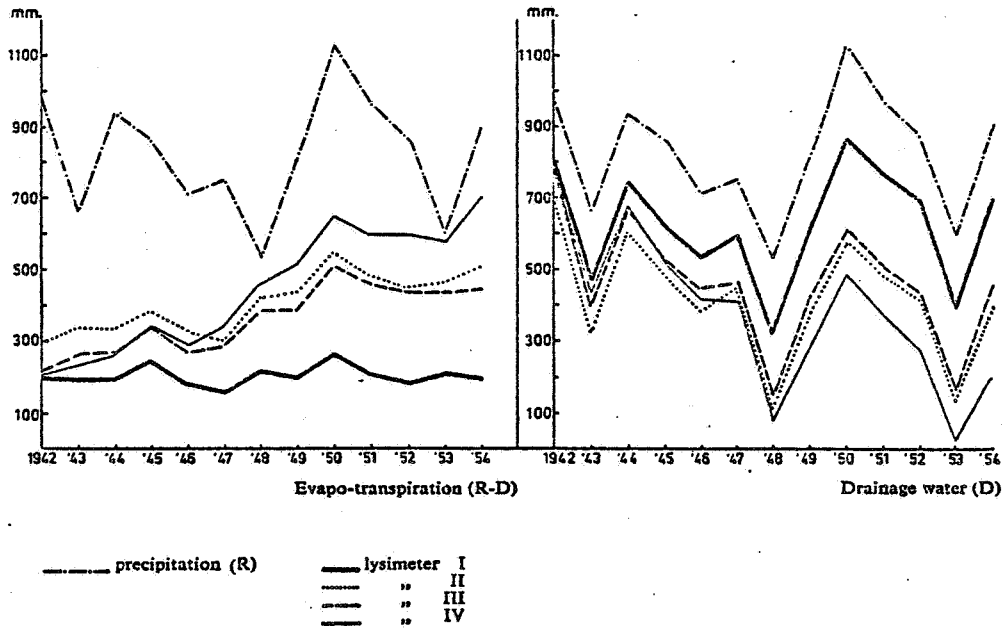
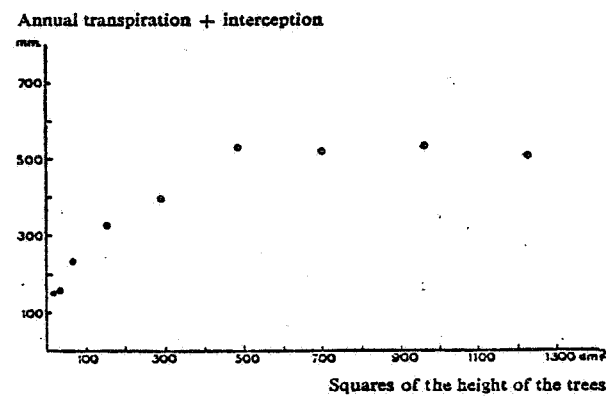
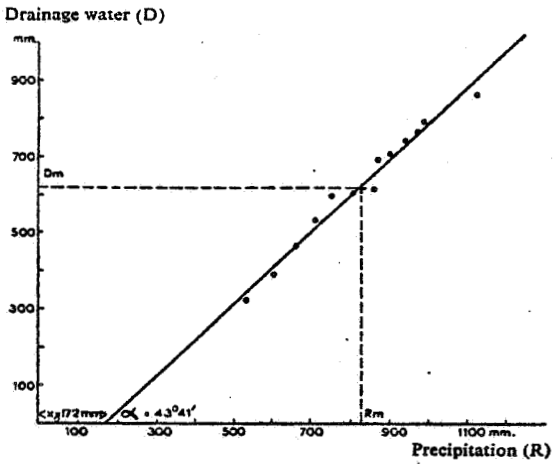


FIG. 1. The lysimeter installation at Castricum.



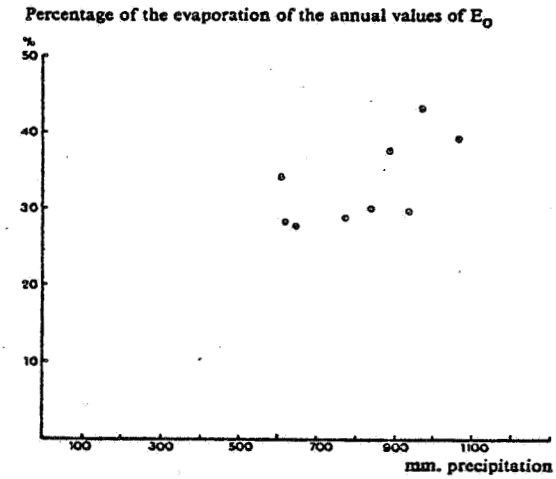
LYSIMETER IV 1945—1953

FIG. 2.
The lysimeter installation at Castricum.



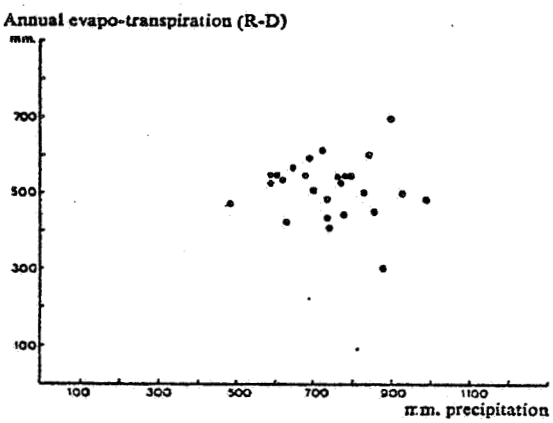
LYSIMETER I 1942—1953

FIG. 3.
The lysimeter installation at Castricum.



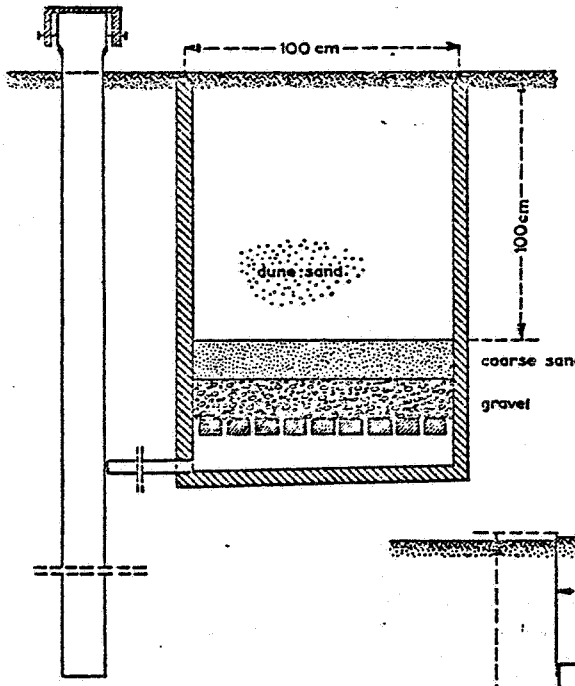
LYSIMETER I 1946—1954

FIG. 4.
The lysimeter installation at Castricum.

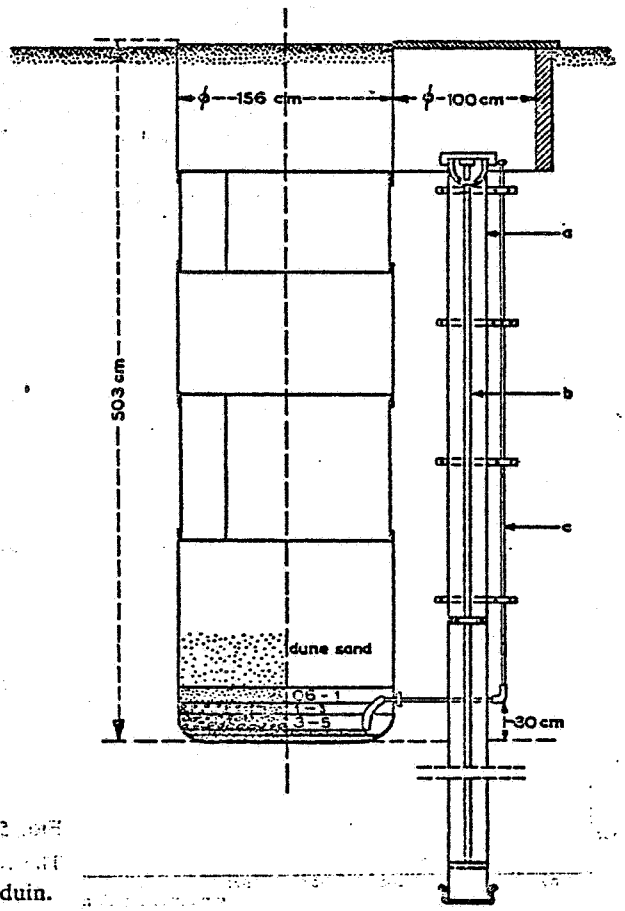


26 years (1919—1933, 1939, 1940, 1946—1954)

FIG. 5.
The lysimeter installation at Groningen.



SHALLOW LYSIMETER
(scale 1:30)



DEEP LYSIMETER
(scale 1:55)

a = collecting tube
b = pumpbarrel
c = gauge tube

FIG. 6 and 7. The lysimeters near Leiduin.

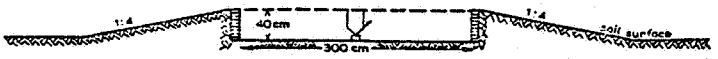


FIG. 8. Rain-gauge in English setting.

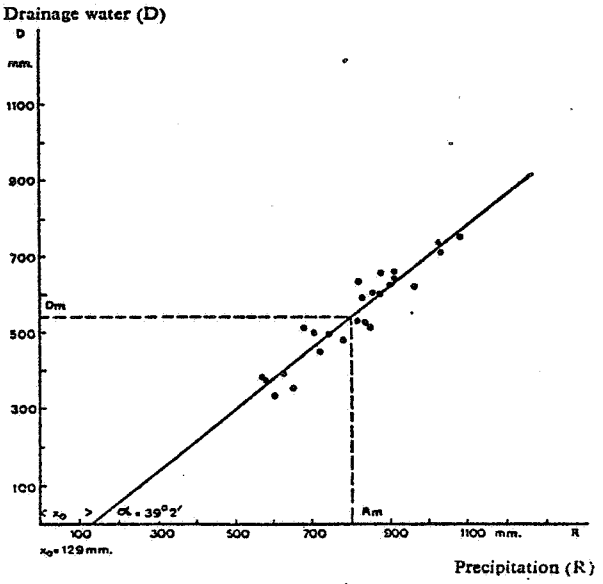
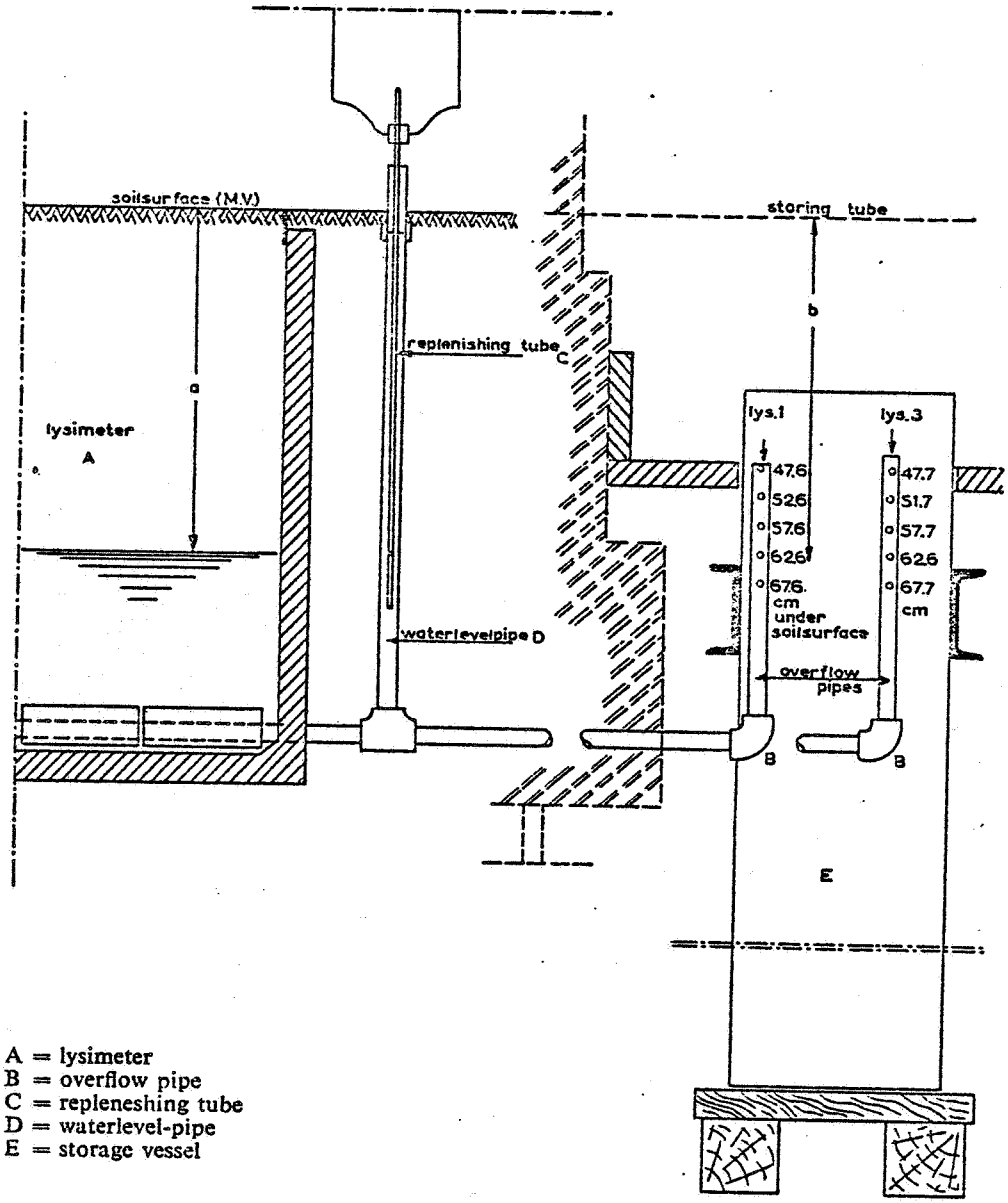


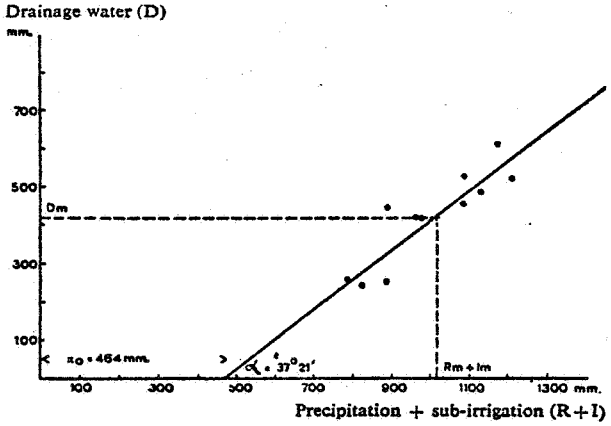
FIG. 9.

Shallow lysimeter near „van Stirumkanaal", Leiduin. Annual quantities 1929—1954.



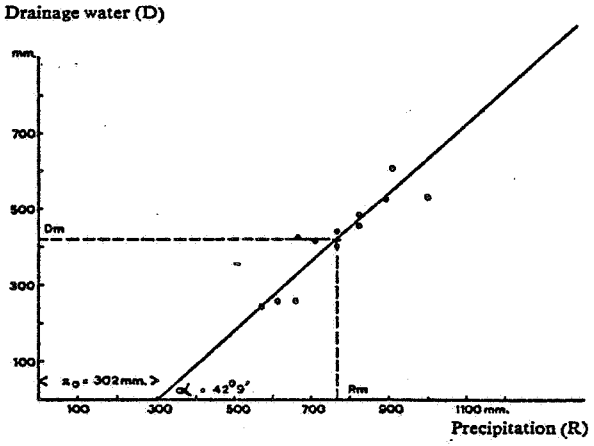
A = lysimeter
B = overflow pipe
C = repleneshing tube
D = waterlevel-pipe
E = storage vessel

FIG. 10. The lysimeters at Oudewetering.



LYSIMETER 3

FIG. 11.
The lysimeters at Oudewetering.



LYSIMETER 3

FIG. 12.
The lysimeters at Oudewetering.

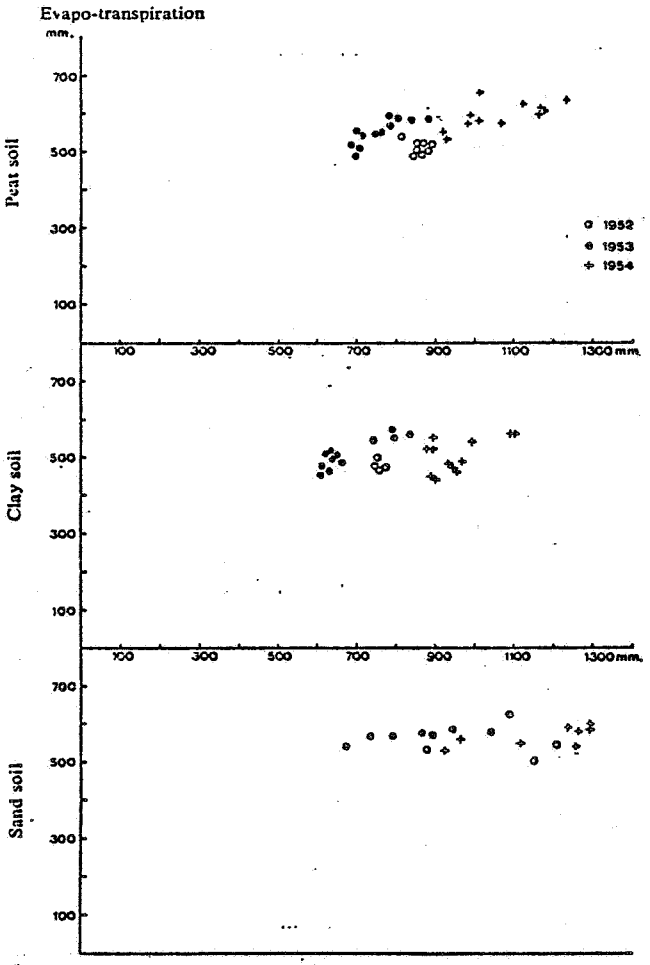


FIG. 13. The lysimeters of the former Central Institute for Agricultural Research at Wageningen.

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

REPORTS AND INFORMATIONS No. 3

SUMMARIES

OF THE PAPERS, PRESENTED IN THE

TECHNICAL MEETINGS
11 and 12

AND OF THE REPORT CONCERNING

THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS

CONTENTS

Eleventh Technical Meeting, March 22nd, 1955

I. THE WATER SUPPLY OF SANDY SOILS 235

1. The water balance of high sandy soils, by J. H. M. LATOUR and D. W. STOLP 235
2. The effect of pumping for sprinkling purposes on the groundwater table in sandy areas, by B. A. VAN NES 236
3. Rise of the phreatic surface and decrease in run-off by damming up a river, by L. F. ERNST 236
4. Watertable-regulation or sprinkling irrigation, by W. C. VISSER 237

Twelfth Technical Meeting, May 30th, 1956

II. QUALITY REQUIREMENTS FOR SURFACE WATERS 239

1. Introduction, by C. BIEMOND 239
2. Pollution by organic matter, by J. J. HOPMANS 239
3. Bacterial pollution, by N. D. R. SCHAAFSMA 240
4. Plankton, by G. P. H. VAN HEUSDEN 240
5. Salt-content, by C. VAN DEN BERG 241
6. Radiological activity, by F. W. J. VAN HAAREN 241
7. Risks, by L. HUISMAN 242
8. Final discussions and conclusions, by C. BIEMOND 242

III. THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS, by R. WIND HZN (†) 243

PREFACE

Complaints are often voiced regarding specialisation and dispersion in the fields of science and technique.

It is, indeed, obvious and unavoidable that further progress in the vast field of present day science and technique should only be possible through specialisation. Such specialisation is also evident in scientific research being focussed at different spheres of interest.

Yet, this hackneyed complaint does not any longer tally with the actual situation: no specialist can afford to neglect contact with specialists in related fields of science; no particular interest in our complicated society can ultimately be served without taking other interests into account. Thus, working parties have become a regular feature in the field of scientific research, and contacts between research institutes in many sectors of society are made and maintained.

T.N.O., the Netherlands Central National Council for Applied Scientific Research, which celebrated its 25th anniversary in 1957, is proof of this tendency.

Within T.N.O., the Committee for Hydrological Research strives to promote co-operation in the field of hydrology. (Hydrology in this respect being defined as the science of the water in its various cycles, for this country in particular: the water in the atmosphere, the rivers and canals, the lakes and the underground.)

The designation "Committee" might be misleading: it has no special terms of reference, but is a voluntary grouping – under the auspices of T.N.O. – of practically all institutions in the country which carry out hydrological studies and investigations.

As to its spheres of interest, these are: the control of the country's water resources with regard to quantity and quality in behalf of domestic, agricultural and industrial demands, and the regulation of surface water and groundwater levels.

The co-operation within the Committee for Hydrological Research T.N.O. replaces a centralisation in a single hydrological institute, which in view of the wide scope and the divergence of the various interests, would not be feasible. Such co-operation affords the possibility of co-ordinating the various research programmes and starting new investigations for which special working parties may be set up.

The present publication, the third issued by the Committee, gives evidence of both kinds of activities: it reports on two technical meetings, at which certain hydrological subjects were treated, and gives the results obtained so far by the Working party on lysimeters.

A word of tribute is due to the compiler of this publication, Dr. R. WIND Hzn. To our great regret this most competent collaborator passed away on March 6th, 1958, after a long illness. The T.N.O. organization keeps his memory in lasting remembrance.

The Hague, April 1958

The Chairman of the
Committee for Hydrological Research T.N.O.,
Prof. W. F. J. M. KRUL

1. THE WATER BALANCE OF HIGH SANDY SOILS

by J. H. M. LATOUR and D. W. STOLP

For none of the catchment areas in the Netherlands are sufficient data available for the preparation of a complete water-balance. Consequently, attention is only given to the formula for a simplified water-balance:
precipitation N = consumption V + drainage through brooks Q.

On the one hand (according to LATOUR) the water consumption V is the difference between N and Q; on the other (according to STOLP) the drainage through brooks Q is the difference between N and V.

For 4 catchment areas (of 61, 163, 191 and 330 square kilometres respectively) the data available for the 6-year period from 1948 tot 1953 incl. have been worked out. The interpretation of the drainage figures caused difficulties in connection with a few considerable changes in the relation between drainage and water level to the more or less dense vegetation developing in summer.

Detailed data are stated on the water consumption calculated for the 6-year period under review.

The seasonal influence on the relation between water consumption V and precipitation N is shown.

The precipitation surplus, which has to be drained from the area in liquid form, is reckoned to be equal to the difference between the total precipitation per year and the total actual evapotranspiration per year. The precipitation is known from observation; the actual evapotranspiration is calculated from the potential evapotranspiration with the aid of supplementary data. The potential evapotranspiration in its turn is derived from the polder balance figures of ELINK STERK for the Haarlemmermeer Polder.

In two areas the drainage measured by LATOUR and that calculated by STOLP correspond well to each other, but in the third area there are a few differences which cannot be satisfactorily accounted for. Further, on the basis of the data for potential evapotranspiration, the quality of moisture available in the root zone at field capacity and the natural precipitation (day figures) it is ascertained how much water (in mm.) should be added through supplementary sprinkling to cover the potential water requirement. The higher water consumption caused by sprinkling is calculated, the increase in the quantity of water that sinks below the root zone being taken into account.

Finally data are given on the changes in the water table during 1953 and 1954. It appears that in the same month there are considerable differences in the water table from year to year. When the water-balance for shorter periods (a few years or less) is studied, the water tables should not be neglected. The differences in water absorbing capacity of the soil can have a considerable influence on the drainage.

2. THE EFFECT OF PUMPING FOR SPRINKLING PURPOSES ON THE GROUNDWATER TABLE IN SANDY AREAS

by B. A. VAN NES

When extracting groundwater for sprinkling crops on sandy soils the necessary quantity of water is determined by the difference between the potential and the actual evapotranspiration of these fields, increased with the additional losses in evaporation, caused by sprinkling.

As the groundwater flow to the boundaries of the considered area will be lessened by this quantity of water, the result will be a lowering of the groundwater table. The maximum drop occurs at the site of extraction and will gradually diminish in the direction of the limits of the area where it will be zero.

In general sprinkling is practised on high grounds, where the water table is well below the surface and the water supply of the vegetation is independent of the groundwater level.

The question is treated as to how far the extraction of groundwater for sprinkling will effect the groundwater level in the adjacent lower fields, where the vegetation is not independent of the groundwater level.

3. RISE OF THE PHREATIC SURFACE AND DECREASE IN RUN-OFF BY DAMMING UP A RIVER

by L. F. ERNST

The propagation of the rise of the groundwater level, caused by the rise of the level of a river, canal or ditch, can be calculated with the equations (1), (2) or (3). When using one of these questions it will be necessary to suppose that the rise of the level of the open water is momentary and that no other changes are being introduced. It results from figures 2, 3 and 4, that a sensible effect at a distance from the open watercourse of about 500 meters is reached after some months only. This is caused by the total resistance in the soil over the considered distance. Even in the case of figures 2, 3 and 4 this resistance is rather large, though for these figures, a value of $kD = 700\ m^2/day$ was accepted as transmissibility. The slow propagation indicates that the effect during the winter might be retained to a certain extent, even with a lower level in the river with free run-off during the winter-period.

In the case that the favourable effect is lost during the winter by an intensified drainage, the second year might be started again with the equations (1), (2) or (3). However, if at the beginning of the summer period the groundwater elevation of the past year is still working, the calculation of the function $h(x,t)$ becomes much more complicated. In the calculations of groundwater flow-problems comprising rather great distances and periods, it becomes necessary to take into account a rather large number of variables: the distance between rivers, the drainage by secundary watercourses, the distribution of precipitation and evaporation, initial conditions, etc. For the practicability it is desirable to use a rather simple calculation-method. In this

publication a quasi-stationary method is recommended but not discussed in detail. In the first place it is necessary to test whether some approximations are permissable. The comparison of the evolution of the watertable in the riverbasin of the Lollebeek (province of Limburg, Netherlands), as observed in a test well and the calculated fluctuations, shows a satisfactory agreement (fig. 11 and 12).

With some quasi-stationary formulae for the amplitude and the phase-shift it becomes possible to draw some conclusions on the total resistance, the storage-coefficient and the water-balance.

For Dutch circumstances it can be deduced that by damming up a river an average reduction in the run-off of 50 mm/year maximal may be attained.

The publication is illustrated with some data concerning the topography and the possibility of raising the levels of open water in the drainage-area of the river Aa and Dommel in the Dutch province of Noord-Brabant.

4. WATERTABLE-REGULATION OR SPRINKLING IRRIGATION

by W. C. VISSER

The question, whether sprinkling irrigation or watertable-regulation is in place is still under discussion. The sprinkling is still done entirely with water out of the subsoil. This exhaustion of the groundwater stock does not harm too much, as the practice is very limited and the neighbours, who do not make use of sprinkling do not object to the use of groundwater.

The technical development of the sprinkling irrigation has advanced more than that of the watertable-regulation. Sprinkling can best be practised individually or in small areas. On the contrary watertable-regulation will have to be executed in large areas on a community basis. Is is very difficult to reach a decision to start an amelioration of the water management for these larger projects and the experience in this sphere is limited so far.

The different aspects, which are decisive for the most suitable method, are successively dealt with in this article and their significance is considered based on the knowledge so far available.

Watertable-regulation is most suitable for half the Netherlands territory, 20 % is potentially preordained for sprinkling and for the remaining 30 % further study is required before any decision can be made.

On level land watertable-regulation is cheapest. With cost of levelling over f 1.800,— sprinkling may be more advantageous. The same applies if water losses to the subsoil are above 550 mm. a year or 11 mm. maximum daily requirements, for instance due to irregular water take-off.

When making the design the utmost advantage of the properties of moisture holding capacity, permeability and difference in altitude will have to be made, irrespective of the method of water management to be used. The watertable-regulation especially makes, with regard to the construction of the plan, high demands on the designer. For the user, however, the watertable-regulation is the least difficult. Special attention

has to be paid to this social factor. Up till now water management was the task of the specialists of the catchment board. Sprinkling might be too difficult a task for the average farmer.

In a survey of the way in which a design of watertable-regulation has to be built up it is tried to find out which points the designer of the plans has to pay special attention to and which are the details, that may be considered of prime interest for the cost and the good functioning of a design.

II. QUALITY REQUIREMENTS FOR SURFACE WATERS

1. INTRODUCTION

by C. BIEMOND

Hydrology in the broader sense may be defined in such a way that this science comprises also the qualitative characteristics of the waters of the earth. Concentrated habitation and industrialisation have caused a heavy pollution in many areas. One of these is the Rhine-basin and a large part of the Netherlands. It was therefore consi-ered opportune and urgent to bring into discussion „quality *requirements* for surface waters".

The speakers will treat different factors of pollution, all of them with regard to public water supply, industry, fishing, agriculture and recreation.

2. POLLUTION BY ORGANIC MATTER

by J. J. HOPMANS

The organic matter occurring in surface waters forms a complicated mixture, many components of it playing an important part in the evaluation of the content of this matter. So the quantitative determination of these components might be of great importance but unfortunately it meets with insurmountable difficulties.

About 1928 dr. ir. HEYMANN (Municipal Waterworks of Amsterdam) has suggested means for the separation in assimilable and nonassimilable contents, based upon the oxygen-absorption by permanganate, determined before and after filtration through a little biological filter. Taking up too much time, however, this method has not been developed further.

An often performed differentiation is made in dissolved and undissolved organic matter. Especially the determination of the suspended solids is important with a view to the protection they offer to pathogenic bacteria.

Of the different methods employed in the course of time to determine the content of organic matter in waste water, the BOD-determination, developed about 1900, gives the most valuable results. According to this method the quantity of oxygen, being necessary to oxidize by biochemical way the organic materials occurring in the water, is determined. On account of further research, however, the value attached to this method has depreciated substantially, yet it is still preferable to other determinations.

According to PHELPS the speed of the biochemical oxidation only depends upon the concentration of organic matter to be converted (monomolecular reaction).

Besides the BOD-figure the oxygen-content is important for the oxygen-management of surface waters. The dissolving of oxygen from the air occurs according to the law of ADENEY-PASVEER.

With the mentioned principles as a base FAIR has given a mathematical treatment of the course of the oxygen-content in a river after the discharge of a given quantity of organic matter ("oxygen-sag").

Warning is given against attaching too great value to pure mathematical procedure in the study of biological processes, which take place in surface waters.

With regard to the situation in the Netherlands some information is given about the course of the oxygen-content of the Rhine, this river being sampled regularly for some years. Between Switzerland and Lobith this content shows a distinct fall, attended by an increase of the BOD-figure. Between Lobith on the one side and Gorinchem, Vreeswijk and Kampen on the other hand, only a slight improvement with respect to the oxygen-management of the Rhinewater occurs.

3. BACTERIAL POLLUTION

by N. D. R. SCHAAFSMA

After the difficulties are mentioned to obtain comparable data regarding the quality of the surface waters a classification is made of these waters. It appears that the large rivers are seriously polluted, the Yssellake has a better quality with the exception of that part of the lake where the Amsterdam sewage is discharged, whereas the lakes in the provinces of Noord-Holland and Friesland contain water with a very small number of bacteria of the coligroup.

Smaller rivers and canals carry water with a large variety of bacterial pollution.

As the suitability of the water concerns for its use for various purposes it is emphasized that the rivers should be prevented from more pollution will they continue to serve as sources of water supply, and for recreation.

The lakes are suitable for water supply with a view to their bacteriological quality. However other conditions may create difficulties.

Attention is paid to the dangers of using bacteriologically contaminated water for watering vegetables, fruit and cattle.

Industry requires sometimes water which is practically sterile whereas for other industries the presence of bacteria is of no importance.

4. PLANKTON

by G. P. H. VAN HEUSDEN

Microscopic organisms, called plankton, are found in any surface waters. The total amount in some Dutch waters is showed. In any plankton-sample some species are abundant, a vast number is rare and very rare. The mutual proportions are expressed by a hyperbolic function.

The plankton is important in relation to the biological self-purification of the polluted water. Under such circumstances there is an abundant growth of both zoö- and phytoplankton mineralizing the polluting materials but also causing a renewed load of organic materials. After the dying the nutritients of the water cumulated in

the plankton sink to the bottom and the final state is a pure water with a poor plankton.

Not only the self-purification but also the fisheries are wholly dependent on the plankton. The fry of nearly all fishes eat planktonic crustaceae. In our region adult fishes never directly live from plankton. They depend on larger animals which, however, are a higher link in the food-chain beginning with plankton.

The industries using surface waters have nuisance of organisms growing in the pipelines. These are infected by their planktonic larvae.

Poisonous algae are reported to have killed cattle and fish.

The water in swimming pools often is made unattractive by a mass vegetation of plankters colouring the water green or brown and causing a bad smell. Their bad taste moreover, is feared by waterworks just as the blockage of the filters.

5. SALT-CONTENT

by C. VAN DEN BERG

In the Netherlands the salt content of water is usually determined by the chloride content, as the total amount of chlorides gives a good estimation of the total amount of soluble salts. The limits of the salt content of water permissible for different processes are in no way absolute but are chosen on account of economic or biological argumentations.

In industries even seawater may be used as cooling-water in cases where the "once through" system is in use. In circulating systems the cooling-water should contain less than 300 tot 400 milligrams chloride per liter; the same holds for water needed for boiler-feeding. In several cases the same limits apply to the process of manufacture. In a few cases water containing less salt is required.

In agriculture vegetable crops in glasshouses make the highest demands upon water quality. The limit in this case is 300 milligrams chloride. Normal supplemental irrigation requires water containing not more than 400 to 500 milligrams chloride per liter. The limits may be extended to about 2500 milligrams chloride per liter in case of drinking water for cattle.

As a rule quality of *tap-water* is closely related to the possibility in obtaining good water. In the Netherlands tap-water with a chloride content below 200 to 300 milligrams per liter is desired.

The limit of 300 milligrams chloride per liter is important for the Dutch economy. In order to maintain this limit the water of the river Rhine should not contain more than 200 milligrams chloride per liter.

Next to chloride determinations periodical measurements of the total salt content and of all salt components in surface waters are desirable.

6. RADIOLOGICAL ACTIVITY

by F. W. J. VAN HAAREN

After an introduction of the subject, a survey is given of nuclear fission and the inherent radiations and by-products (radioisotopes). Possible biological damage, caused by radiation, is discussed.

A short review of radiological control of water is given; laboratories in the Netherlands, equipped for this control, are mentioned.

Accumulation of radioisotopes in living tissue in a biological series is discussed.

Attention is given to possible amelioration of apparatus and methods of investigation. A short note on the organization of the radiological control of the Rhine concludes the paper.

7. RISKS

by L. HUISMAN

Closely connected to the use of surface water, which is likely to be exposed to pollution, is the acceptation of the risk, that at a certain moment this pollution assumes such enormous proportions that the water temporarily becomes unsuitable for the purpose set.

Through precautionary measures at the source of the pollution and through safety measures at the intake these risks can of course be reduced, although they can never be met completely. For the sake of absolute safety a reserve shall have to be at hand beside this surface water supply.

As a reserve a reserve-stock is mainly considered, either underground, in the pores between the grains, or in open basins and then chiefly in the IJsselmeer and in the future Zeeland-lakes.

Supply of drinking water and certain industries cannot do without such a reserve and are able to pay the costs, that are attached to it; fishing-industry, recreation and sport use the water as such and therefore do not benefit by a reserve. Between these two stands agriculture, which needs enormous quantities of water, can pay only very little, but has on the other hand only very little demands as to the quality.

8. FINAL DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

by C. BIEMOND

Ir. C. BIEMOND pays tribute to the speakers who introduced the different facets of the problem and to the audience for the constructive way in which it took part in the discussions.

Conclusions were then proposed and after some amendments approved of and accepted:

1. It is desirable that all effluents from sewers of any importance in the Netherlands be purified by sedimentation and biological treatment.
2. There is need for refinement in the method to describe surface waters. Also needed is a map of the Netherlands with the surface waters, identified as to their quality.
3. It is recommended to prepare a map of the Netherlands giving information about the waters insofar as dangerous, less dangerous and without danger for swimming.

4. The meeting interprets the lively interest with which the proceedings of the International Rhine Committee are followed in this country. The meeting wishes the Dutch delegates strength and wisdom.
5. It seems important to develop chromatography for the determination of odour and taste substances.
6. The meeting follows with interest the further development of the Veluwe-lake.
7. More knowledge should be made available about the occurence of pathogene organisms in the Dutch surface waters.
8. The value of lakes and broads in the Western Netherlands for public water supply should be investigated nearer.
9. It is recommended to have regularly determined the chlorid contents of surface water at a number of essential points, supplemented by less frequent complete chemical analyses at the same points.
10. The meeting expresses its concern in regard to the progressive augmentation of chlorids in the water of the Rhine.
11. It is recommendable to execute standardized determinations of radioactivity of waters in the whole basin of the Rhine.
12. In regard to the potentiality of irregularities and disasters in the hinterland along the Rhine, it is recommendable to develop sufficient storage reservoirs in the interest of public water supply and eventually of industry.

These conclusions will be presented to the Chairman of the Commission for Hydrological Research of T.N.O.

III. THE LYSIMETERS IN THE NETHERLANDS

by R. WIND HZN. (†)

A description is given of the lysimeter installations in the Netherlands. The construction and erection, the vegetation cover, the meteorological equipment and facts about the watertable a.s.o. are described.

In the tables 1 till 8 the various annual data of the waterbalance, provided by the research, are given. A list of publications is added too.

SECTION T.N.O. DES RECHERCHES HYDROLOGIQUES

RAPPORTS ET COMMUNICATIONS No. 3

RÉSUMÉS

DES COMMUNICATIONS, PRÉSENTÉES DANS LES

RÉUNIONS TECHNIQUES
11 et 12

ET DU RAPPORT CONCERNANT

LES LYSIMÈTRES AUX PAYS-BAS

TABLE DES MATIÈRES

Onzième Réunion Technique, le 22 mars 1955

I. L'ALIMENTATION DES SABLES EN EAU 251

1. La balance hydrostatique de hautes terres sablonneuses, par J. H. M. LATOUR et D. W. STOLP 251
2. Effet sur la nappe phréatique du puisement d'eau souterraine pour l'arrosage de terrains sablonneux, par B. A. VAN NES 252
3. Rehaussement de la nappe phréatique et diminution du décharge par refoulement des cours de drainage, par L. F. ERNST 252
4. Le règlement du niveau de la nappe phréatique ou aspersion, par W. C. VISSER 254

Douzième Réunion Technique, le 30 mai 1956

II. EXIGENCES À FORMULER POUR LE MAINTIEN DES EAUX DE SURFACE EN RELATION DE QUALITÉ 255

1. Introduction, par C. BIEMOND 255
2. La pollution par des matières organiques, par J. J. HOPMANS 255
3. Pollution bactériologique, par N. D. R. SCHAAFSMA 256
4. Le plancton, par G. P. H. VAN HEUSDEN 256
5. La teneur en sel, par C. VAN DEN BERG 257
6. Radioactivité, par F. W. J. VAN HAAREN 258
7. Risques, par L. HUISMAN 258
8. Discussions ultérieures et conclusions, par C. BIEMOND 258

III. LES LYSIMÈTRES AUX PAYS-BAS, par R. WIND HZN. (†) 259

AVANT-PROPOS

Souvent des plaintes se font entendre relatives au fractionnement de la science et de la technique. En effet, il est indiscutable et inévitable qu'une continuation du progrès dans le champ immense du savoir moderne ne saurait s'effectuer sans une spécialisation de plus en plus accentuée.

Celle-ci se fait sentir également par l'orientation des recherches scientifiques vers un nombre croissant de sphères d'intérêts.

Pourtant ces plaintes, devenues lieu commun, ne s'accordent plus avec la réalité: aucun spécialiste ne peut se permettre de travailler sans contact avec ses collègues dans les domaines parentés; aucun intérêt dans la société compliquée de nos jours ne peut être servi sans tenir compte d'autres intérêts.

C'est pourquoi les groupes de travail scientifique se présentent comme un phénomène régulier et que les institutions scientifiques dans divers secteurs de la société entretiennent des contacts mutuels.

La T.N.O., l'Organisation centrale néerlandaise pour les Recherches Scientifiques Appliquées qui célébra son 25ième anniversaire en 1957, fait preuve de cette tendance. Dans la T.N.O. c'est la Commission des recherches hydrologiques qui s'efforce de stimuler la coopération dans le domaine de l'hydrologie, la science de l'eau dans tous les cycles de la nature, pour notre pays notamment l'eau dans l'atmosphère, les rivières, les canaux, les lacs et le sol.

La Commission hydrologique est un groupement volontaire – sous le patronage de la T.N.O. – de presque toutes les institutions aux Pays-Bas qui s'occupent d'études hydrologiques.

Quant aux divers sphères d'intérêts, il s'agit du régime des ressources en eau par rapport à la quantité et la qualité, en vue des besoins de la population, de l'agriculture et de l'industrie et ensuite de la régulation du niveau des eaux de surface et de l'eau souterraine.

La collaboration dans la Commission hydrologique T.N.O. remplace la centralisation dans un seul institut hydrologique qui, par l'étendue de la matière et de la divergence des intérêts, ne serait pas réalisable. Elle donne cependant la possibilité de coordiner les divers programmes de recherche et d'en entamer de nouveaux. A cette fin des groupes de travail spéciaux se sont établis.

La présente publication, constituant la troisième d'une série, fait témoin des deux activités sus-mentionnées: elle rend compte de deux sessions techniques trai-

tant de certains sujets hydrologiques et donne des résultats obtenus jusqu'à présent des études du Groupe de Recherches sur l'Evaporation.

Des remerciements sincères sont dus au rédacteur de la présente publication, le Dr. R. WIND Hzn. Hélas, cette personalité compétente et dévouée décéda le 6 mars 1958 après une longue maladie. L'organisation T.N.O. lui garde un souvenir inoubliable.

La Haye, avril 1958

Le président de la
Commission T.N.O. des recherches hydrologiques,
Prof. W. F. J. M. KRUL

1. LA BALANCE HYDROSTATIQUE DE HAUTES TERRES SABLONNEUSES

par J. H. M. LATOUR et D. W. STOLP

Aucun des bassins des ruisseaux néerlandais ne dispose d'assez de données pour l'établissement d'une balance hydrostatique suffisante. Par conséquent on ne fait attention qu'à la formule pour la balance hydrostatique simplifiée:
précipitation atmosphérique N = consommation V + écoulement de ruisseau Q

D'une part (LATOUR) la consommation d'eau V est déterminée comme la différence entre N et Q. D'autre part (STOLP) l'écoulement de ruisseau Q est calculé comme la différence entre N et V.

Pour 4 bassins de réception (larges respectivement de 61, 163, 191 et 330 km²) on a élaboré des données disponibles sur les 6 années de 1948 à 1953. L'interprétation des chiffres d'écoulement soulevait des difficultés par une forte modification constatée dans quelques cas dans le rapport entre l'écoulement et le niveau de l'eau, à la suite de la végétation plus ou moins du sol qui se développe en été.

Des données détaillées sont mentionnées sur la consommation d'eau calculée sur la période de 6 ans en cause.

L'influence saisonnière sur le rapport entre la consommation d'eau V et la précipitation atmosphérique N est démontrée.

Le surplus de la précipitation atmosphérique qu'il faut faire écouler de la région sous forme liquide est égalé à la différence entre la somme annuelle de la précipitation atmosphérique et la somme annuelle de l'évapotranspiration réelle. On connaît par observation la précipitation atmosphérique; l'évapotranspiration réelle est calculée à base de l'évapotranspiration potentielle à l'aide de données supplémentaires. L'évapotranspiration potentielle est à son tour déduite des chiffres de balance de polder recueillis par ELINK STERK pour le polder du Haarlemmermeer.

Outre une bonne concordance (dans deux régions) entre l'écoulement mesuré par LATOUR et l'écoulement calculé par STOLP (dans la troisième région) il se présente également quelques déviations dont l'explication d'une façon satisfaisante est impossible.

Ensuite, la quantité d'eau (en mm) qu'il faudrait administrer comme arrosage supplémentaire pour couvrir le besoin d'eau potentiel est examinée à partir des données sur l'évapotranspiration potentielle, la quantité d'eau disponible dans la zone des racines à la capacité de rétention et la précipitation naturelle (chiffres diurnes). Compte tenu de l'accroissement de la quantité d'eau d'infiltration l'accroissement de la consommation d'eau à la suite de l'arrosage est calculé.

Enfin, des données sont fournies sur l'écoulement du niveau de la nappe d'eau souterraine pendant les années 1953 et 1954. Il paraît qu'il se présente des différences sensibles du niveau de la nappe d'eau souterraine année par année, pour le même mois. Aux études de la balance hydrostatique sur de brèves périodes (pendant quelques années ou moins) il ne faut pas négliger les niveaux de la nappe d'eau souterraine. Les variations de la puissance d'absorption d'eau du sol peuvent influer sensiblement sur l'écoulement.

2. EFFET SUR LA NAPPE PHRÉATIQUE DU PUISEMENT D'EAU SOUTERRAINE POUR L'ARROSAGE DE TERRAINS SABLONNEUX

par B. A. VAN NES

En empruntant de l'eau souterraine pour l'arrosage de terrains sablonneux la quantité nécessaire est déterminée par la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle de ces terrains, augmentée des pertes d'évaporation supplémentaires causées par l'arrosage.

Comme le courant de l'eau souterraine vers les bords des terrains en question sera diminué par cette quantité, il en résulte un abaissement de la nappe phréatique. Cet abaissement aura son maximum à l'endroit de l'extraction et diminuera graduellement en approchant les limites du terrain, où il sera zéro.

En général on pratique l'arrosage des champs élevés, où la nappe phréatique est bien au-dessous des terrains et l'approvisionnement en eau de la végétation est indépendant de la nappe.

La question est traité dans quelle mesure l'extraction de l'eau souterraine en faveur de l'arrosage de ces champs élevés influence le niveau de la nappe phréatique dans les régions voisines moins élevées aux bords du terrain considéré, où la végétation n'est pas indépendante de la nappe.

3. REHAUSSEMENT DE LA NAPPE PHRÉATIQUE ET DIMINUTION DU DÉCHARGE PAR REFOULEMENT DES COURS DE DRAINAGE

par L. F. ERNST

La propagation du rehaussement de la nappe, causée par un rehaussement du niveau d'une rivière, canal ou émissaire, peut être calculée par les équations (1), (2) ou (3). En utilisant une de ces équations il faut partir de la supposition que le rehaussement du niveau de l'eau libre se produit instantanément et que nul autre changement ne sera introduit. Il résulte des figures 2, 3 et 4 qu'un effet sensible à une distance d'environ 500 mètres de l'émissaire ne peut être atteint d'après quelques mois.

Ce-ci est causé par la résistance totale jusqu'à la distance envisagée, quelle résistance est encore assez grande même dans le cas des figures 2, 3 et 4, où on a accepté comme conductivité horizontale une valeur kD = 700 m²/jour. En plus il ressort de cette propagation lente, que pendant l'hiver l'effet peut être conservé dans un certain mesure malgré un niveau plus bas dans l'émissaire pendant cette période.

Dans le cas que l'effet favorable disparait pendant l'hiver par une intensification du drainage, ou peut recommencer dans la deuxième année avec une des équations (1), (2) ou (3). Dans l'autre cas cependant, qu'au commencement de la semestre d'été le rehaussement de la nappe phréatique se fait sentir encore, la calculation de la function h (x,t) sera plus compliquée. Dans le calcul des courants d'eau souterraine s'étendant sur assez grandes distances et périodes, il faut tenir compte d'un assez grand nombre de variables: la distance des émissaires primaires, le drainage par les émissaires secondaires, la distribution de la précipitation et de l'évaporation, la situation initiale, etc.

Pour la practicabilité une méthode de calcul assez simple es préférable. La méthode quasi-stationnaire, qui est recommandée n'est pas discutée en détail dans cette publication. Premièrement il faut vérifier la permissibilité de certains approximations. La comparaison de l'évolution du niveau de la nappe phréatique comme observée dans un puit de sondage dans le bassin du Lollebeek (petite rivière dans la province de Limburg, Pays-Bas) avec le développement calculé, montre une concordance satisfaisante (fig. 11 et 12).

Par quelques formules quasi-stationnaires pour l'amplitude et le décalage (équations 6 et 7) on peut déjà tirer des conclusions sur la résistance totale, le coefficient d'emmagasinement et le bilan d'eau. Pour les circonstances dans les Pays-Bas on peut déduire que par le refoulement d'une petite rivière l'économie moyenne peut être 50 mm/année au maximum.

Cette publication est illustrée avec quelques données concernant la topographie et la possibilité du refoulement dans les bassins de la rivière Aa et de la rivière Dommel dans la province de Noord-Brabant (Pays-Bas).

4. LE RÈGLEMENT DU NIVEAU DE LA NAPPE PHRÉATIQUE OU ASPERSION

par W. C. VISSER

On discute toujours quand c'est le règlement du niveau de la nappe d'eau qui est de mise et quand l'aspersion. L'aspersion se fait encore complétement par le captage des eaux souterraines. Comme l'étendue est encore peu importante et que les voisins, ne se servant pas de l'aspersion, n'y voient pas d'inconvénients, elle ne pourrait nuire déjà à la réserve d'eau souterraine. Le développement technique de l'aspersion est plus avancé que celui du règlement du niveau de la nappe phréatique. En considérant sa nature, l'aspersion est une mesure à prendre pour de petites superficies et pour une exécution individuelle. Le règlement de la nappe d'eau tout au contraire devra être pratiqué sur de grandes régions comme une tâche solidaire. Il est plus difficile de décider à entreprendre ces grands travaux et les expériences faites sur ce terrain sont bien moins nombreuses.

On traîtera successivement les différents aspects, qui sont déterminants pour les deux méthodes et on évaluera leur importance pour autant que les connaissances actuelles le permettent.

La moitié de la surface de la Hollande se prête le mieux le règlement de la nappe d'eau, 20 % a été prédestiné à l'aspersion et sur 30 % de la surface on ne peut se prononcer qu'après de plus amples études.

Pour le règlement de la nappe d'eau les frais sont les plus favorables sur des terrains unis. Si les frais d'égalisation s'élévent à plus de fl. 1.800,— on préférera l'aspersion, ainsi qu'avec des pertes souterraines de plus de 550 mm par an ou un besoin quotidien de 11 mm, p.e. par suite d'un débit d'eau irrégulier.

En formant le projet il faudra tenir compte des particularités de l'humidité, de la perméabilité et de l'altitude des plans à tracer, sans tenir compte de la méthode à appliquer. C'est surtout le règlement de la nappe d'eau qui est très exigeant à la qualité des plans. Cependant, pour l'usager, le règlement du niveau d'eau est moins compliqué. Il faut surtout prêter attention à ce facteur social. La maîtrise d'eau était jusqu'ici la tâche des spécialistes de „l'association d'habitants de polders". Il se pourrait que l'aspersion soit une tâche trop compliquée pour le fermier moyen.

Dans un aperçu résumant la façon dont il faut faire le plan pour le règlement de la nappe d'eau on a essayé de rechercher les différents points auxquels l'auteur des projets doit surtout prêter son attention et les finesses qui pouraient trancher la question des frais et du bon fonctionnement.

II. EXIGENCES À FORMULER POUR LE MAINTIEN DES EAUX DE SURFACE EN RELATION DE QUALITÉ

1. INTRODUCTION

par C. BIEMOND

L'hydrologie dans ses aspects plus larges peut être définiée tellement que cette science comprend aussi les caractéristiques qualitatives des eaux du globe. L'habitation concentrée et l'industrialisation ont causé une pollution de plus en plus grave en plusieurs rayons. Le bassin du Rhin et une grande partie des Pays-Bas en forment un exemple. Sous cette considération est présenté maintenant comme opportune et urgente une discussion des „*exigences* à formuler pour le maintien des eaux de surface en relation de qualité".

Les introducteurs traiteront les différentes aspects de pollution, tous en relation de l'alimentation publique, l'industrie, la pêche, l'agriculture et la récréation.

2. LA POLLUTION PAR DES MATIÈRES ORGANIQUES

par J. J. HOPMANS

Les matières organiques, se trouvant dans les eaux superficielles, forment un mélange compliqué, dont beaucoup de composantes pourraient jouer un rôle important dans le jugement de la teneur en ces matières.

Par conséquent l'analyse quantitative des matières en question serait d'un intérêt éminent. Cependant en pareil dosage rencontre des difficultés insurmontables.

Vers 1928 Mons. le Docteur-Ingénieur HEYMANN de la Service des Eaux de la Municipalité d'Amsterdam a indiqué une méthode pour la décomposition en matières organiques assimilables et non-assimilables, basée sur l'oxydabilité au permanganate, déterminée avant et après filtration par un petit filtre biologique. Pourtant cette méthode prenant trop de temps elle n'a pas été développée.

Souvent une différenciation est réalisée en matières organiques solubles et insolubles. Surtout le dosage des substances solides est important en vue de la protection qu'elles offrent aux bactéries pathogènes.

Parmi les méthodes diverses appliquées pour le dosage de la teneur en matières organiques des eaux usées, celle de la DBO, développée vers 1900, donne les résultats les plus importants. D'après cette méthode la quantité d'oxygène, nécessaire pour l'oxydation biologique des matières organiques, présentes dans l'eau, est déterminée. Cependant, à cause des recherches plus récentes, l'importance attribuée à cette méthode a diminué considérablement; malgré cela elle est encore toujours préférable aux autres dosages.

Selon PHELPS la vitesse de l'oxydation biochimique ne dépend que de la concentration des matières organiques convertibles (réaction monomoléculaire).

A côté du chiffre de la DBO la teneur en oxygène est également importante pour l'économie de l'oxygène des eaux superficielles. La dissolution de l'oxygène de l'atmosphère est gouvernée par la loi d'ADENEY-PASVEER.

En se basant sur les lois mentionnées FAIR a donné un traitement mathématique du changement de la teneur en oxygène d'une rivière en aval de la décharge d'une quantité certaine de matières organiques („oxygen-sag").

On est averti de ne pas attribuer une valeur trop grande à une méthode purement mathématique pour l'étude des réactions biologiques, se passant dans les eaux superficielles.

Quant à la situation aux Pays-Bas quelques communications sont faites sur le changement de la teneur en oxygène du Rhin, cette rivière étant observée régulièrement depuis quelques années. Entre La Suisse et Lobith cette teneur montre un abaissement distinct, s'alliant à une augmentation du chiffre de la DBO. Entre Lobith d'une part et Gorinchem, Vreeswijk et Kampen d'autre part il ne se produit qu'une amélioration faible de l'économie d'oxygène de l'eau de cette rivière.

3. POLLUTION BACTÉRIOLOGIQUE

par N. D. R. SCHAAFSMA

Après avoir mentionné les difficultés qu'on rencontre pour comparer la qualité des eaux superficielles une classification a été faite de ces eaux. Il se montre que les grandes rivières sont crieusement infectées, que le Lac IJssel contient de l'eau d'une qualité supérieure excepte dans la partie ou l'eau d'égout d'Amsterdam est déchargée, tandis que les lacs dans les provinces de Noord-Holland et de Friesland contiennent de l'eau avec un nombre de bactéries de la groupe coli fort petit. Les petites fleuves et les canaux sont pollués à un degré très variable.

En ce qui concerne la propriété des eaux pour l'usage aux différents buts il sera nécessaire de prévenir une pollution plus sévère des grandes fleuves pourvu qu'elles continuent de servir comme prises d'eau des distributions d'eau et comme centres de récréation. Les lacs sont d'une bonne qualité bactériologique pour l'approvision de l'eau ménage. Cependant d'autres conditions peuvent créer des difficultés à ce point.

Les dangers pour la santé sont discutés résultant de l'emploi de l'eau avec une contamination bactérielle pour arroser des légumes et des fruits ou pour la bétail.

L'industrie demande quelque fois de l'eau presque stérile, tandis que pour d'autres industries la présence des bactéries est sans importance.

4. LE PLANCTON

par G. P. H. VAN HEUSDEN

Des organismes microscopiques, nommé plancton, se trouvent dans tout les eaux de surface. La quantité totale dans quelques eaux des Pays Bas et démonstrée. Dans chaque échantillon de plancton quelques espèces sont abondantes, plusieurs sont rares ou très rares. Les proportions mutuelles sont exprimées par une fonction hyperbolique.

Le plancton est très important en relation avec l'autopurification des eaux polluées. Dans ces circumstances il y a une productivité abondante de zoöplancton et de phytoplancton, qui minéralisent la matière polluante mais aussi forment une charge nouvelle de substances organiques. En mouriant les nutricients de l'eaux cumulées dans le plancton s'enfoncent et le résultat est une eau purifiée avec un plancton pauvre.

Non seulement l'autopurification mais aussi la pisciculture est dépendante entièrement du plancton. Les larves de prèsque tous les poissons se nourissent de crustacées planctoniques. Dans nos pays les poissons adults ne jamais mangent le plancton directement. Ils sont dépendants des organismes plus larges, qui sont cependant une maille plus haute de la chaîne de nourriture commençant avec le plancton.

Dans l'industrie usant de l'eau de surface des organismes qui s'attachent dans les tuyaux sont un inconvénient. Ils sont infectés par leurs larves planctoniques.

Des algues toxiques ont amené la mort des bestiaux et des poissons. L'eau dans les bassins de natation souvent est désagréable par des efflorescences, qui colorent l'eau vert ou brun et répandent une odeur mauvaise. Leur goût mauvais est redouté par les services des eaux autant que le colmatage des filtres.

5. LA TENEUR EN SEL

par C. VAN DEN BERG

En général on mesure la teneur en sel en Hollande par des déterminations de Cl′ qui donnent une bonne impression du total des sels dissolubles. Les limites de la teneur en sel dans l'eau, tolérées pour différents procès ne sont pas absolues. Elles sont basées sur des arguments économiques et biologiques.

Pour l'industrie, il est même possible d'utiliser l'eau de mer comme eau de refroidissement dans le système „once through". Il est préférable que l'eau de refroidissement utilisée dans des systèmes de circulation et l'eau d'alimentation des chaudières ne contienne pas plus de 300 à 400 mg de Cl′ par litre. En différents cas ces limites comptent aussi pour le procès de fabrication. Des fois il faut de l'eau ayant une teneur en sel moins élevée.

Dans l'agriculture on est très exigeant en ce qui concerne l'eau pour les cultures de serre. La limite est alors de 300 mg de Cl′ par litre. Un approvisionnement d'eau complémentaire pour les cultures hors de serre exige de l'eau qui ne contienne pas plus de 400 à 500 mg de Cl′ par litre. Les limites sont bien plus élevées (de 2500 à 3500 mg de Cl′ environ) pour l'approvisionnement d'eau de boisson pour le bétail.

Quant à l'eau potable on stipule des conditions basées sur les possibilités d'obtenir une bonne eau. En Hollande on préfère l'eau qui contient moins de 200 à 300 mg de Cl′.

Le chiffre d'environ 300 mg par litre est d'une très grande importance pour l'économie néerlandaise. Afin de maintenir ces limites, l'eau du Rhin qui sert de remblayage et de renouvellement ne devrait contenir plus de 200 mg de Cl′ par litre.

Il est désirable qu'on prenne régulièrement des mesures de la teneur en sels totales et de ses composants dans les eaux publiques, outre les déterminations de Cl′.

6. RADIO-ACTIVITÉ

par F. W. J. VAN HAAREN

Un aperçu des caractéristiques essentielles de la radio-activité précède une description des radiations émises pendant les désintégrations des noyaux instables. Les isotopes qui se produisent par cause d'une fission nucléaire sont discutés en bref. Ils sont classés selon la nocivité des radiations émises; ici se pose une distinction entre l'irradiation externe et interne.

Des informations générales sont données sur les méthodes de dosage de la radio-activité et sur les possibilités d'accumulation des radio-isotopes dans les êtres vivants.

Des améliorations souhaitables des méthodes de dosage et des appareils nécessaires à ce sujet sont discutées.

Un aperçu concis des problèmes de l'organisation des contrôles conclut le rapport.

7. RISQUES

par L. HUISMAN

L'utilisation des eaux de surface, exposées à une souillure probable, est liée à l'acceptation du risque, que cette souillure prenne à un certain moment telles dimensions que les eaux temporairement deviennent inutilisables au but proposé.

Par des mesures de précaution à la source de la souillure et par des mesures de sécurité à la prise ces risques peuvent être réduits, mais jamais complètement arrêtés. Afin d'obtenir une sécurité absolue il faut avoir une réserve à côté de ces eaux de surface.

Comme réserve principale un stock est admis, soit souterrainement, dans les pores entre les grains, soit dans des bassins ouverts; en ce cas principalement dans l'IJsselmeer et les lacs futurs de Zélande.

L'alimentation en eau potable et certaines industries ont besoin de cette réserve et sont à même de payer les frais; la pêche, la récréation et les sports se servent ainsi de l'eau et ne profitent pas d'une réserve. Entre ces deux se trouve l'agriculture, qui a besoin des quantités énormes, qui ne peut payer qu'un montant insignifiant, mais qui autrement dit n'est pas très exigeant quant à la qualité de l'eau.

8. DISCUSSIONS ULTÉRIEURES ET CONCLUSIONS

par C. BIEMOND

Monsieur Biemond fait hommage aux introducteurs, qui ont présenté les différentes facettes du problème et loue l'audience pour la façon constructive dans laquelle elle prenait part dans les discussions.

Des conclusions étaient ensuite proposées et après quelques amendements approuvés et acceptés:

1. Il est désirable pour les Pays-Bas que tous les effluents des égouts de quel qu'importance soient purifiés par sédimentation et traitement biologique.

2. Il y a besoin d'un raffinement dans la méthode de décrire les eaux de surface. On constate aussi le besoin d'une carte des Pays-Bas identifiante les qualités des eaux de surface.
3. On recommand la préparation d'une carte des Pays-Bas, qui donne information des eaux de surface en tant qu'étant dangereuses, moins dangereuses et sans danger pour la natation.
4. La réunion interprète le vif intérêt avec lequel on suit dans ce pays les actions de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin contre la Pollution. La réunion souhait aux délégués hollandais la fermeté et la sagesse.
5. Il apparâit être important à développer la chromatographie pour la détermination des substances d'odeur et de saveur.
6. La réunion suit avec intérêt le développement ultérieur du lac entre le Veluwe et les nouveaux polders de l'IJsselmeer.
7. Il serait désirable d'avoir plus d'information de l'occurrence d'organismes pathogènes dans les eaux de surface hollandaises.
8. L'intérêt des lacs et des mares de la Hollande occidentale pour l'alimentation publique en eau serait l'object de nouvelles investigations.
9. Est recommandée la détermination régulière de la teneur en chloride des eaux de surface dans un nombre de points essentiels supplémentés d'analyse chimique complète dans les mêmes points mais moins fréquemment.
10. La réunion exprime son inquiétude au regard de l' augmentation progressive des chlorides dans les eaux du Rhin.
11. Est recommandé d'exécuter des déterminations normalisées de la radio-activité des eaux dans le bassin entier du Rhin.
12. Au regard des dangers potentiels émanants d'irrégulatités et de désastres dans l'hinterlande lelong du Rhin il est recommandable de développer des réservoirs suffisants de stockage dans l'intérêt de l'alimentation publique et eventuellement de l'industrie.

Ces conclusions seront présentées au Président de la Commission de Recherche Hydrologique du T.N.O.

III. LES LYSIMÈTRES AUX PAYS-BAS

par R. WIND HZN. (†)

Une description est donnée des lysimètres aux Pays-Bas y compris un exposé sur la construction et la érection, la végétation, l'équipement météorologique, des faits sur la nappe phréatique etc. Dans les tables 1 jusqu'au 8 inclus les termes du bilan d'eau annuel de chaque installation sont donnés.

On a inséré un résumé des publications.