

MEDEDELINGEN EN VERHANDELINGEN

70

DR C. KRAMER †

**BEREKENING
VAN DE GEMIDDELDE GROOTTE
VAN DE VERDAMPING
VOOR VERSCHILLENDE DELEN
VAN NEDERLAND
VOLGENS DE METHODE
VAN PENMAN**

**COMPUTATION
OF THE MEAN VALUE OF EVAPORATION
FOR VARIOUS PARTS OF THE NETHERLANDS
ACCORDING TO PENMAN'S METHOD**

Kon. Ned. Meteor. Inst.

De Bilt

IV.e.40(R)

1957



F 7.—

Meteor. Instituut

IV.....
e.....
40(R).....

BEREKENING
VAN DE
GEMIDDELDE GROOTTE VAN DE VERDAMPING
VOOR VERSCHILLENDE DELEN VAN NEDERLAND
VOLGENS DE METHODE VAN PENMAN

PUBLICATIENUMMER: K.N.M.I. 102-70

U.D.C: 551.504:
551.573(492)

BEREKENING
VAN DE
GEMIDDELDE GROOTTE VAN DE VERDAMPING
VOOR DE VERSCHILLENDE DELEN
VAN NEDERLAND
VOLGENS DE METHODE VAN PENMAN

*Computation
of the mean value of evaporation
for various parts of the Netherlands
according to Penman's method*

DR C. KRAMER †

1957



STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF / 'S-GRAVENHAGE



INHOUD

Blz.		
9	1	INLEIDING
9	1 1	Betekenis van de term „verdamping”
10	1 2	Het nut van de berekening van de verdamping onder verschillende klimatologische condities
12	1 3	De methode van PENMAN voor de berekening van de verdamping
17	2	DE KEUS VAN DE BIJ HET ONDERZOEK TE GEBRUIKEN GEGEVENS
17	2 1	De keus van de gebieden (stations)
21	2 2	De keus van het tijdvak
21	2 3	De wijze van uitvoering der berekeningen
21	2 4	De meteorologische basis-gegevens
22	2 4 1	Temperatuur
23	2 4 2	Relatieve vochtigheid van de lucht
26	2 4 3	Zonneschijnpercentage
29	2 4 4	Windsnelheid
41	3	DE UITKOMSTEN VAN DE BEREKENING
41	3 1	De regionale verschillen; de verschillen tussen de jaren
44	3 2	De jaarlijkse gang
47	4	VERGELIJKING VAN DE UITKOMSTEN MET ENKELE ANDERE VERDAMPINGSGEGEVENS
47	4 1	Vergelijking met de meetuitkomsten van een drijvende verdampingsbak
50	4 2	Vergelijking met meetuitkomsten van Piche-evaporimeters
55	5	SLOTPMERKINGEN
55	5 1	Enkele details van de afleiding van de formule van PENMAN
55	5 2	Verwaarlozen van de fractie S in de vergelijking van het energie-budget (zie 1.3 vgl. (2))
56	5 3	De grootte van de factor $\frac{K}{E_0} = \beta$, „BOWEN's ratio”; (zie 1.3 vgl. (4))
56	5 4	Opmerkingen over constanten, voorkomende in de formule voor het netto-stralingsbudget

Blz.

57	5	4	1	De fotosynthese-fractie μ van de inkomende straling
57	5	4	2	De reflectiecoëfficiënt T
58	5	4	3	De factor R_c
59	5	4	4	De uitwisseling van langgolvlige straling tussen de atmosfeer en het wateroppervlak
59	5	4	4	1 De aarde als zwart lichaam voor langgolvlige straling
59	5	4	4	2 Invloed van het waterdampgehalte der atmosfeer op de uitwisseling van langgolvlige straling en de onjuistheid in de bepaling van die invloed
61	5	4	4	3 Invloed van de bewolking op de „langgolvlige stralings-term”
62	5	5		Opmerkingen over de formule voor E_a
64	6			SAMENVATTING
66				SUMMARY
67				LITERATUUROPGAVE

VOORBERICHT

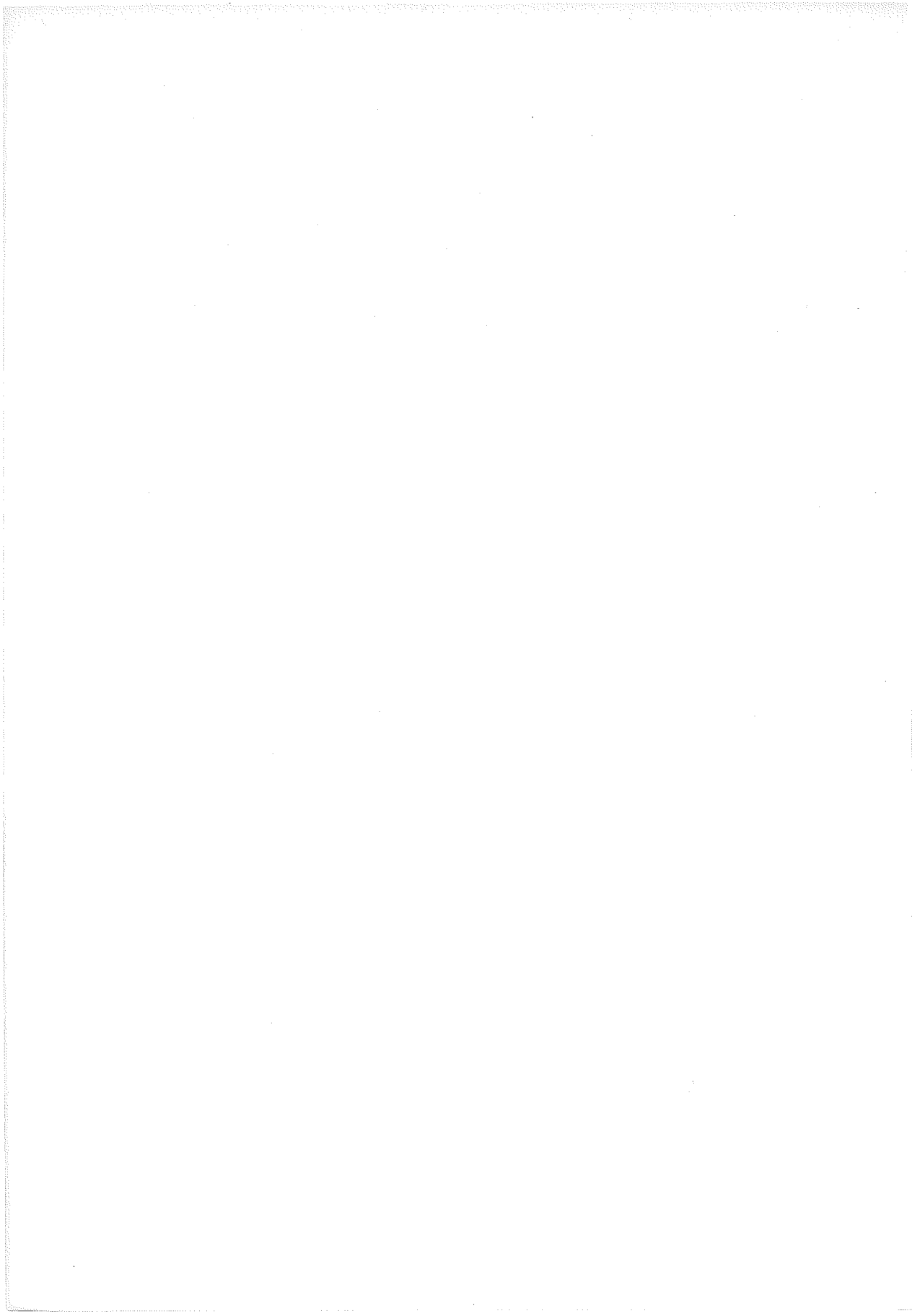
Hierbij ziet het licht een verhandeling over de verdamping in Nederland, nagelaten door Dr. C. KRAMER, de op 24 december 1955 overleden veelbelovende natuurkundige, Wetenschappelijk Medewerker aan het K.N.M.I., wiens steun aan de Afdeling Klimatologie en Landbouwmeteorologie zo node wordt gemist.

De verhandeling behelst een onderwerp, dat, sinds PENMAN er een nieuwe in de klimatologische praktijk geschikt hanteerbare vorm aan gaf, de algemene belangstelling geniet, een belangstelling die evenwel ook niet vrij is van kritiek, daar elke wiskundige formulering van de verdamping in de vrije natuur een vereenvoudiging inhoudt van een in wezen zeer ingewikkelde grootheid.

Verschillende collegae van Dr. C. KRAMER, in het bijzonder Dr. H. J. DE BOER, hebben zich belast met de uitvoering van enkele noodzakelijk gebleken wijzigingen en verbeteringen aan vorm en inhoud van het hierbij gepubliceerde geschrift.

december 1956

*De Hoofddirecteur van het
Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut,
Ir. C. J. WARNERS*



1. INLEIDING

1.1 Betekenis van de term „verdamping”

In de natuurkunde duidt men met de term „verdamping” aan de overgang van een stof van de vloeibare in de gasvormige toestand. Voor deze overgang is energie nodig, die in de vorm van warmte aan de vloeistof of de omgeving wordt onttrokken.

In deze publikatie wordt de term gebruikt in de meer beperkte betekenis, die er in de meteorologie en de hydrologie aan gehecht wordt, namelijk van de overgang van water, dat zich in vloeibare toestand aan de oppervlakte van de aarde of in de bovenste lagen van de grond bevindt, tot waterdamp in de atmosfeer. Waar aan de oppervlakte van de aarde zogenaamde „open watervlakken” voorkomen (zeeën, meren, rivieren, sloten, plassen e.d.) geschiedt de overgang van de vloeibare in de gasvormige fase aan het grensvlak tussen de watermassa en de atmosfeer. Het water dat zich in de bovenste lagen van de grond bevindt kan in hoofdzaak langs twee wegen als waterdamp in de lucht terecht komen, en wel in de eerste plaats langs de directe weg, d.w.z. door diffusie uit de poriën (de kleine open ruimten tussen de vaste deeltjes) van de bovenste grondlaag. In de tweede plaats vindt transport van water uit de grond naar de atmosfeer plaats via de planten, die met hun wortels water uit de grond opnemen. In de plant vindt dan transport van water naar de bovengrondse delen plaats; via de stomata of huidmondjes der bladeren, dat zijn kleine, gedeeltelijk afsluitbare openingen, waaronder zich met water gevulde holten tussen de epidermis-cellen bevinden, wordt het water in dampvorm aan de atmosfeer afgegeven (transpiratie).

Alleen wanneer men te maken heeft met open watervlakken kan het water onder alle omstandigheden ongehinderd in de atmosfeer overgaan en wordt de grootte van het transport dus uitsluitend bepaald door de voor de verdamping beschikbare energie enerzijds en door de opneem-capaciteit van de atmosfeer anderzijds.

Bij verdamping uit de grond, hetzij direct of via planten, kan de voor verdamping beschikbare hoeveelheid water begrensd worden door andere factoren, daar zij gelijke tred moet houden met de nalevering uit de diepere lagen van de grond, hetzij deze door capillaire opstijging dan wel via de zuigwerking van de wortelharen geschiedt. Kan deze nalevering niet in voldoende mate plaats vinden dan heeft uitdroging van de bovenste laag van de grond plaats, terwijl bij de plant een regulerend mechanisme in werking treedt, dat door gedeeltelijke afsluiting van de stomata de transpiratie vermindert.

De berekening van de grootte van de verdamping is dus alleen in het eerste geval, d.w.z. bij „open watervlakken”, een zuiver meteorologisch vraagstuk. Hierbij dient men evenwel te bedenken, dat onder het begrip „open watervlak”

niet alleen zeeën, meren, kanalen en dergelijke geografische eenheden vallen, doch dat ten aanzien van de verdamping in wezen steeds dan van „open watervlak” gesproken kan worden wanneer een voorwerp, van welke afmetingen dan ook, door een waterlaag, hetzij dik of dun, bedekt is.

1.2 Het nut van de berekening van de verdamping onder verschillende klimatologische condities

In verband met allerlei waterhuishoudkundige, cultuurtechnische en landbouwkundige maatregelen en technieken is de behoefte aan een zo nauwkeurig mogelijke kennis van de gemiddelde grootte van de verdamping bij verschillende klimatologische en meteorologische situaties in de laatste jaren sterk toegenomen.

De vooral na de tweede wereldoorlog klemmende noodzaak tot een zo intensief en efficiënt mogelijk gebruik van het voor agrarische doeleinden beschikbare areaal, waardoor vele vraagstukken op het gebied van de waterbeheersing urgent werden, de toepassing van nieuwe inzichten inzake beregening, infiltratie en ontwatering in land- en tuinbouw, daarnaast het sterk toenemende waterverbruik voor burgerlijke en industriële doeleinden en het tot stand komen van belangrijke waterstaats-projecten (inpoldering IJsselmeer, Delta-plan) brachten het verdampingsvraagstuk van verschillende zijden onder de aandacht. Heel sterk werkte daartoe mede, dat Nederland tengevolge van een complex van oorzaken terzake van de watervoorziening uit een „overvloed-economie” in een „schaarste-economie” dreigt terecht te komen. Op verschillende manieren werd dan ook getracht, het inzicht in dit vraagstuk te verdiepen.

Theoretisch onderzoek op het gebied van de verdamping is voornamelijk in het buitenland verricht. Hierbij werd getracht op fysische basis formules voor het verband tussen de verdamping en de bepalende meteorologische grootheden af te leiden (THORNTHWAITE & HOLZMANN, PENMAN, PASQUILL, SUTTON en vele anderen).

In ons land werd in het bijzonder allerlei experimenteel werk geëntameerd om langs de weg van metingen tot een indruk van de grootte van de verdamping onder verschillende omstandigheden te komen.

Aan het *Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek* te Wageningen wordt door MAKKINK reeds enige jaren met behulp van een uitgebreide installatie met weegbare lysimeters de verdamping van grasland bestudeerd [1].

De Dienst van de Zuiderzeewerken meet de verdamping van grote watervlakken met behulp van drijvende verdampingsbakken in het IJsselmeer (haven van Urk). De *Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat*, het *Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.* en het *K.N.M.I.* verrichten gezamenlijk onderzoek naar de verdamping van de begroeiende grond in de Rottegatpolder (Gr.). Bij het laatstgenoemde project worden twee methoden met elkander vergeleken, n.l. a. de afleiding van de grootte van de verdamping uit de water-

balans – zowel voor de gehele polder over langere tijdvakken als voor kortere perioden in kleine proefvakken – en *b.* de berekening van de verdamping volgens de methode van het verticale waterdamtransport, waartoe temperatuur-, dampspanning- en wind-profielen worden geregistreerd.

Met niet-weegbare lysimeters wordt de verdamping uit duinzandgrond, zowel begroeid als onbegroeid, gemeten op het lysimeterstation van het *Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland* te Castricum. Ook op enige andere plaatsen zijn nog lysimeters in gebruik.

Al deze onderzoeken zijn uiteraard plaatselijk en bieden wegens het verschil in methode geen materiaal voor de vergelijking van de verdamping in verschillende delen van het land.

Dit laatste is in principe wel het geval bij een onderzoek dat sedert 1953 door het K.N.M.I. in samenwerking met de „Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland” wordt uitgevoerd naar de invloed van neerslag en verdamping op de dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand ¹⁾. Hiertoe werd op een 60-tal over het gehele land verspreide regenstations behalve de normale neerslagmeting dagelijks een peiling van de grondwaterstand uitgevoerd en tevens werd van dag tot dag de verdamping gemeten met een evaporimeter volgens PICHE. De constructie en de wijze van opstelling van dit apparaat is elders beschreven [2].

Dit onderzoek geeft wegens het grote aantal waarnemingsposten, waar met uniforme apparatuur werd gemeten, reeds enigermate een indruk van de verhouding der verdampingsgrootten in de verschillende delen van het land. Evenwel is gebleken dat, als gevolg van de geringe hoogte waarop de evaporimeters zijn geplaatst (30 cm boven de grond) de variërende microklimatologische en lokaal-klimatologische omstandigheden het beeld sterk vertroebelen, zodat slechts door het middelen van de gegevens van groepen evaporimeters die zich in dezelfde gebieden bevinden enigermate een ruw beeld van de verhouding der verdampingsgrootten in die gebieden gevormd kon worden.

(In West-Duitsland is in 1954 een soortgelijk onderzoek met Piche-evaporimeters op een 20-tal stations uitgevoerd, waarbij de evaporimeters echter op 200 cm boven de grond waren opgesteld [3].)

Het werd daarom wenselijk geacht, langs andere weg een algemeen beeld van de eventuele gemiddelde regionale verschillen in verdamping te verkrijgen.

Hierbij was men dus, wegens het ontbreken van vergelijkbare reeksen directe metingen over een voldoende aantal jaren en plaatsen, aangewezen op een indirecte methode, d.w.z. de toepassing van een theoretische verdampingsformule op beschikbare reeksen meteorologische gegevens. Op grond van in de hier volgende nader toe te lichten redenen werd hiervoor gekozen de methode van PENMAN.

¹⁾ Dit onderzoek werd op 1 maart 1956 beëindigd.

1.3 De methode van PENMAN voor de berekening van de verdamping

Deze methode werd door H. L. PENMAN (Rothamsted Experimental Station, Harpenden, England) ontwikkeld in de jaren 1945–1948. Voor details van de afleiding van de formule zij verwezen naar 5 en naar de betreffende literatuur [4, 5].

Op deze plaats moge volstaan worden met een korte schets van de gedachten-gang welke aan de formule ten grondslag ligt.

Zoals hierboven reeds werd opgemerkt zijn er, bij een onbeperkte mogelijk-heid tot aanvoer van water naar het grensvlak, twee factoren die de grootte van de verdamping bepalen, n.l. *a.* de capaciteit van de aangrenzende atmosfeer voor het afvoeren en bergen van de waterdamp, *b.* de voor de verdamping beschikbare hoeveelheid energie.

a. Het opneem-vermogen van de atmosfeer.

Uit een grensvlak tussen water en lucht kan alleen dan water verdampen, wanneer de lucht niet verzadigd is met waterdamp. Zodra de verdamping inzet, vormt zich tegen het wateroppervlak door diffusie van watermoleculen een dunne grenslaag van lucht die wél verzadigd is. Zij de dampspanning van de waterdamp in deze grenslaag e_s . De dampspanning van de onverzadigde „vrije” lucht op enige afstand van het grensvlak wordt gekarakteriseerd door het symbool e_d ; dat is de verzadigingsspanning bij het dauwpunt.

Volgens DALTON is de snelheid van de verdamping nu in de eerste plaats recht evenredig met het spanningsverschil $e_s - e_d$.

Om het verdampingsproces gaande te houden is nodig, dat voortdurend waterdamp uit de grenslaag wordt getransporteerd naar de onverzadigde lagen er boven. Dit transport geschiedt in hoofdzaak door turbulente uitwisseling en de mate van turbulentie in de lucht boven het wateroppervlak is dus mede bepalend voor de verdampingssnelheid. In de vrije atmosfeer is de snelheid van deze turbulente uitwisseling afhankelijk van de (op een zeker niveau gemeten) windsnelheid u . Door combinatie van de twee bovengenoemde gezichtspunten vindt men voor de verdampingssnelheid E_o uit een open watervlak de volgende formule (de z.g. formule van DALTON):

$$E_o = A (e_s - e_d) \cdot (1 + Bu), \quad (1)$$

waarin A en B experimenteel te bepalen constanten zijn.

De praktische moeilijkheid bij deze formule schuilt in de bepaling van e_s . Deze is namelijk bepaald door de temperatuur in de grenslaag, die niet gelijk hoeft te zijn aan de temperatuur van de lucht, doch sterk afhankelijk is van de temperatuur in het grensvlak water–lucht.

Onder invloed van de straling kan deze laatste in belangrijke mate afwijken van de temperaturen die men resp. in het water en in de lucht meet. Er kunnen

zoals bekend is vlak bij een dergelijk grensvlak sterke temperatuurgradiënten optreden, waarvan de meting technisch uiterst moeilijk is.

Om de noodzaak tot het uitvoeren van dergelijke moeilijke metingen te ontgaan, heeft PENMAN nu een verband weten te leggen tussen de bovengeschetste beschouwing en een andere, die gebaseerd is op

b. de voor de verdamping beschikbare hoeveelheid energie. De per oppervlakte-eenheid op een grensvlak vallende straling R_i , verminderd met de gereflecteerde straling en de door het grensvlak zelf uitgezonden straling, R_u , levert de beschikbare netto-stralingsenergie H . Zowel R_i als R_u zijn te berekenen uit fysische grootheden, met gebruikmaking van experimentele betrekkingen (zie 5.1).

Deze beschikbare energie wordt gebruikt:

1. voor verwarming van het water en eventueel van de ondergrond: S
2. voor verwarming van de aangrenzende lucht: K
3. voor verdamping: E_o

Dus

$$H = E_o + K + S$$

Bij berekening blijkt de fractie S steeds klein te zijn t.o.v. de fracties E_o en K , en vooral over grotere perioden geheel te verwaarlozen; dus geldt bij benadering

$$H = E_o + K \quad (2)$$

Nu kan de verhouding, waarin H over K en E_o wordt verdeeld, bepaald worden op grond van de overweging, dat zowel bij de verwarming (K) van de aangrenzende lucht door het bestraalde grensvlak als bij de verdamping (E_o) de turbulente menging als transportmechanisme fungeert. Deze turbulente menging is een functie van de windsnelheid. Dus op dezelfde manier als E_o (zie boven) afhangt van dampspanningsgradiënt en windsnelheidsfunctie, hangt K af van temperatuurgradiënt en windsnelheidsfunctie. Onder de temperatuurgradiënt wordt daarbij verstaan het verschil tussen de grensvlaktemperatuur T_s en de luchttemperatuur T_a .

In formule dus (afgezien van constanten):

$$\begin{aligned} K &|| (T_s - T_a) \cdot \varphi(u) \\ E_o &|| (e_s - e_a) \cdot \varphi(u) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{K}{E_o} = \frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} \cdot \gamma \quad (4)$$

(γ is een constante die ongeveer de waarde 0,49 heeft, indien T in $^{\circ}\text{C}$ en e in mm H_g wordt uitgedrukt.)

Uit (2) volgt echter

$$\frac{H}{E_o} = 1 + \frac{K}{E_o} = 1 + \gamma \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d} \quad (5)$$

Er bestaat een eenduidig verband tussen T en e , d.w.z. bij iedere temperatuur behoort een waarde van de verzadigde waterdampspanning e , en omgekeerd. In plaats van $T_s - T_a$ kunnen we dus nemen $\frac{e_s - e_a}{\Delta}$ waarin Δ een verhoudingsgetal is dat uit het functionaal verband tussen T en e volgt en afhangt van T . Dan wordt dus (5)

$$\frac{H}{E_o} = 1 + \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{e_s - e_a}{e_s - e_d} \quad (6)$$

Nu zegt formule (1), dat voor de verdampingsnelheid uit een wateroppervlak dat de luchttemperatuur T_a heeft aangenomen, bij een bepaalde windsnelheid u geldt:

$$E_a = (e_a - e_d) f(u)$$

Evenzo geldt als het wateroppervlak tengevolge van straling de temperatuur T_s ($\neq T_a$) heeft:

$$E_o (\equiv E_s) = (e_s - e_d) f(u)$$

Dus

$$\frac{E_a}{E_o} = \frac{e_a - e_d}{e_s - e_d} \quad (7)$$

Een kleine omzetting van (6) geeft

$$\begin{aligned} \frac{H}{E_o} &= 1 + \frac{\gamma}{\Delta} \frac{e_s - e_a}{e_s - e_d} = 1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left\{ \frac{(e_s - e_d) - (e_a - e_d)}{e_s - e_d} \right\} = \\ &= 1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left\{ 1 - \frac{e_a - e_d}{e_s - e_d} \right\} \end{aligned} \quad (6a)$$

Na substitutie van (7) in (6a) ontstaat:

$$\begin{aligned} \frac{H}{E_o} &= 1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left\{ 1 - \frac{E_a}{E_o} \right\} \quad \text{of} \\ H &= E_o + \frac{\gamma}{\Delta} \left\{ E_o - E_a \right\} \quad \text{of} \\ \Delta H &= (\Delta + \gamma) E_o - \gamma E_a \quad \text{of} \\ E_o &= \frac{\Delta H + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \end{aligned} \quad (8)$$

Hiermede hebben wij de basisformule van PENMAN verkregen. Via enkele benaderingen, die in 5 nader worden besproken, slaagt PENMAN er in, de waarde van H te berekenen uit de meteorologische gegevens: *luchttemperatuur*, *zonschijnpercentage* en *relatieve vochtigheid*, uitgaande van een door breedtegraad en jaargetij bepaalde waarde van de aan de buitenrand van de atmosfeer invallende straling. E_a wordt berekend uit de formule van DALTON, met experimentele constanten, waarbij e_a in de plaats komt van e_s uit de oorspronkelijke formule (1), en kennis van de oppervlaktetemperatuur dus niet meer nodig is. De variabelen die men nodig heeft, zijn: *luchttemperatuur* (voor e_a), *relatieve vochtigheid* (voor e_d) en *windsnelheid* (voor $f(u)$). γ is, zoals gezegd, een constante.

Voor de bepaling van Δ is eigenlijk de kennis van T_s wèl nodig, immers

$$\Delta = \frac{e_s - e_a}{T_s - T_a}.$$

PENMAN redt zich uit dit bezwaar, door te stellen, dat men voor niet al te grote verschillen tussen T_s en T_a in plaats hiervan, zonder een grote fout te maken, mag stellen:

$$\Delta = \left(\frac{\partial e}{\partial T} \right) T_a$$

zodat alléén kennis van de *luchttemperatuur* nodig is.

Samenvattend zien wij dus, dat om alle delen van de formule numeriek te kunnen berekenen, de volgende meteorologische variabelen nodig zijn:

1. *luchttemperatuur*
2. *zonschijnpercentage*
3. *relatieve luchtvochtigheid*
4. *windsnelheid*,

welke grootheden zodanig in de formule voorkomen, dat de verdamping toeneemt bij toeneming van 1, 2 en 4 en bij daling van 3.

Dit maakt dus de zaak technisch schijnbaar zeer eenvoudig. Een van de grootste moeilijkheden komt echter te voorschijn, wanneer men moet vaststellen op welke manier nu de noodzakelijke meteorologische gegevens vastgesteld zullen worden. Het is vanzelfsprekend voor de uitkomst van belang of men voor de luchttemperatuur van een bepaalde dag bijvoorbeeld neemt het gemiddelde van dagelijks maximum en minimum, dan wel het overdag-gemiddelde of het 24-uurgemiddelde. Soortgelijke overwegingen gelden voor relatieve vochtigheid en windsnelheid. Dat hier onzekerheden optreden is een gevolg van het hybridisch karakter van de formule van PENMAN. Enerzijds is de basisformule een formule zonder tijdparameter, d.w.z. zij geeft de verdamping

als functie van een gemiddelde netto-stralingsintensiteit, luchttemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid. Anderzijds zitten er bijvoorbeeld in de functies met behulp waarvan deze stralingsintensiteit op de bedekkinggraad en deze weer op het zonneschijnpercentage wordt betrokken, wel degelijk tijdsafhankelijke elementen; en men moet zich dus op allerlei punten van de afleiding terdege afvragen, over welk tijdsverloop middelen geoorloofd is.

Op deze plaats moeten wij wel rekenschap afleggen van de reden waarom, ondanks de bovengenoemde bezwaren, toch de formule van PENMAN voor de berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping is gekozen. Hierbij dient voorop te staan, dat het noodzakelijk was een formule te gebruiken die uitsluitend de normale klimatologische gegevens als variabelen bevat. Voor deze voorwaarde was het aantal te gebruiken systemen praktisch beperkt tot twee, n.l. naast de gebruikte theorie van PENMAN de benaderingsmethode van THORNTHWAITE [6]. De laatste gebruikt als meteorologisch gegeven alléén de luchttemperatuur – zij is dus uit dat oogpunt nog veel eenvoudiger toe te passen dan de formule van PENMAN – en bevat verder als variabele nog slechts de breedtegraad.

Door VAN WIJK, DE VRIES en VAN DUIN [7] werd het faseverschil φ tussen de jaarlijkse gang van resp. straling en temperatuur berekend voor de gevallen dat:

- a. de potentiële verdamping P.E. in fase is met de temperatuur (hetgeen het geval is als de formule van THORNTHWAITE geldt) en
- b. de P.E. in fase is met de straling (PENMAN).

Gevonden werd in geval a: $\varphi = 0,3$ maand

in geval b: $\varphi = 1,2$ maand

terwijl het experimentele faseverschil tussen de jaarstromen van straling en temperatuur ongeveer 1 maand bedraagt (vergelijk hiervoor ook fig. 10 en 12 op pag. 45 en 46), zodat geval b beter in overeenstemming is met de werkelijkheid van geval a; dit pleit dus voor de betere bruikbaarheid van de methode PENMAN tegenover die van THORNTHWAITE. Uitdrukkelijk zeggen de schrijvers, dat dit geldt voor gevallen waarbij advectieve warmte niet belangrijk is.

Verder was ook het feit, dat de methode van PENMAN voor Engeland betrouwbare resultaten geeft, terwijl de methode van THORNTHWAITE is ontworpen voor en is getoetst onder meer continentale omstandigheden in de V.S., voor ons een aanleiding om voor Nederland aan de eerstgenoemde methode de voorkeur te geven.

2. DE KEUS VAN DE BIJ HET ONDERZOEK TE GEBRUIKEN GEGEVENS

2.1 De keus van de gebieden (stations)

De methode van PENMAN is een benaderingsmethode die globale waarden oplevert. Het onderzoek naar verschillen en de gemiddelde grootte van de verdamping volgens deze methode is dus slechts zinvol voor gebieden met betrekkelijk ruim gekozen grenzen, waartussen men in de bepalende meteorologische factoren verschillen van enige importantie mag verwachten. Wanneer men in een gebied als Nederland met slechts betrekkelijk geringe klimatologische verschillen nog een onderverdeling wil aanbrengen, heeft men reeds het gevoel zich te bewegen aan de grens van wat met deze methode bereikt kan worden. Lettende op de gemiddelde verschillen binnen dit gebied en de vier meteorologische basisfactoren: temperatuur, zonneschijn, relatieve vochtigheid en wind kan men redelijkerwijs slechts van de volgende factoren effect verwachten:

- a. een gering verschil tussen „Noord” en „Zuid” op grond van temperatuurverschillen, kort aangeduid als breedte-effect (het verschil in breedtegraad tussen noord en zuid is zo gering, dat de invloed hiervan op de stralingsfactor te verwaarlozen is)
- b. enige invloed van het verschil in windsterkte tussen de kustgebieden en de meer landinwaarts gelegen gebieden (kort aangeduid als kusteffect).

Over de verdeling van het *zonneschijnpercentage* over Nederland (isoheliënpatroon) is onderzoek verricht door BRAAK [8] en door LEVERT [14]. Uit de van maand tot maand en van jaar tot jaar sterk wisselende isoheliënpatronen komt als gemiddeld beeld een verloop van de isoheliën ruwweg in de richting Noord-Zuid te voorschijn, hetgeen ook geïnterpreteerd kan worden als een verloop parallel aan de kust, en wel met het maximum aan de zee kust.

Het zonneschijnpatroon zal t.o.v. de verdamping gemiddeld in gelijke zin werken als het windpatroon.

De verdeling van de *relatieve vochtigheid* is onderzocht door BRAAK [9]. Deze vond slechts geringe verschillen. „Over het algemeen is een afnemende van de betrekkelijke vochtigheid van enkele percenten op te merken van west naar oost en een geringere van noord naar zuid. Het verschil is het duidelijkst in de lente en de zomer en van weinig betekenis in de herfst en de winter. Het verschil is het grootst tijdens de waarneming van 14 uur: in de zomermaanden is dan in het noordwesten de vochtigheid 10% hoger dan in het zuidoosten . . .” (t.a.p. pag. 14).

Ook hier hebben wij dus weer te maken met verschillen die in hoofdzaak door de afstand tot de zee bepaald worden. Ten aanzien van de verdamping werken de verschillen en relatieve vochtigheid de invloed van de verschillen in windsterkte en in zonneschijnpercentage tegen; het geringe verschil tussen noord

en zuid werkt op de verdamping in dezelfde richting als het temperatuurverschil.

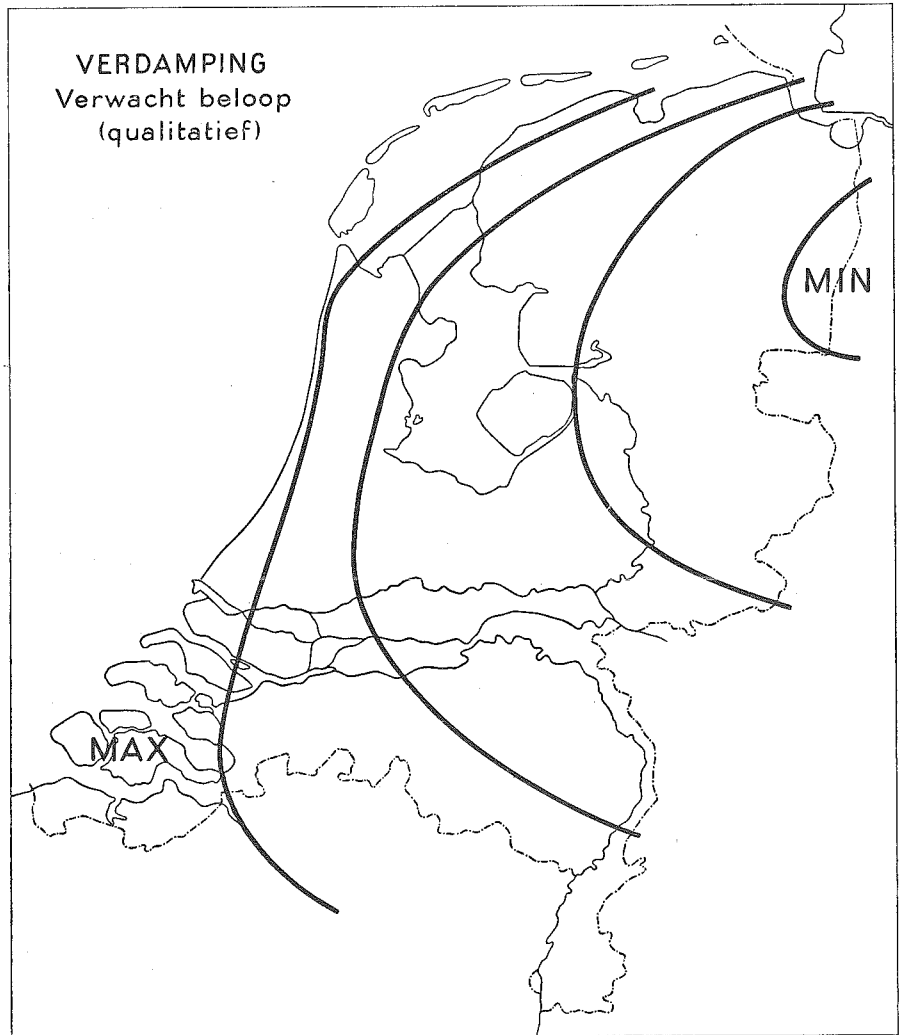


FIG. 1. Verwacht beloop (kwalitatief) der lijnen van gelijke verdamping op grond van a. windinvloed (toenemend naar de kust) en b. temperatureffect (toenemend van N naar Z)

Aannemende dat de gezamenlijke invloeden van wind en zonschijn overwegen over de invloed van de relatieve vochtigheid, verwachten wij dus een patroon van lijnen van gelijke verdamping die globaal genomen evenwijdig

aan de kust verlopen, dus ongeveer als de lijnen van gelijke windsterkte, met naar het zuiden gaande, een, vermoedelijk geringe, afwijking landinwaarts; dus ongeveer zoals in fig. 1 in een kwalitatieve schets is weergegeven.

In de verhandeling, door BRAAK aan de verdamping in Nederland gewijd [10], vindt men slechts weinig gegevens die een oordeel over de verhouding der verdampingsgrootte in verschillende delen van Nederland toelaten, omdat BRAAK bij de bewerking van deze verhandeling slechts over een gering aantal metingen (afgezien van die van het hoofdstation) beschikte, welke gegevens bovendien nog inhomogeen en veelal van twijfelachtige kwaliteit waren. Slechts kunnen wij zeggen, dat de zeer weinige aanknopingspunten die deze publikatie biedt voor het hier behandelde onderwerp, met name de vergelijking tussen verdampingscijfers van open verdampingspannen te De Bilt en Den Helder, resp. De Bilt en Zutphen, niet in tegenspraak zijn met het hierboven geschetste beeld.

BRAAK geeft de volgende verhoudingsgetallen:

- 1°. een reeks gemiddelde maandwaarden voor de verhouding Den Helder/De Bilt (geldend voor het tijdvak 1909-1935), waarvan de extremen zijn: 1,98 in november tegenover 1,07 in maart en in mei, m.a.w. Den Helder steeds een hogere verdamping dan De Bilt.
- 2°. verhoudingsgetallen De Bilt/Zutphen voor elk der maanden april t.e.m. september 1930; van deze 6 verhoudingsgetallen zijn er 5 groter of gelijk aan 1 en slechts één (september) kleiner dan 1; de uiterste waarden zijn 1,29 en 0,82, de gemiddelde waarde 1,15, dus deze (korte) reeks wijst op een hogere verdamping in De Bilt dan in Zutphen.

Zoals gezegd is mag er niet te veel betekenis aan deze cijfers worden toegekend, gezien de gebrekkige apparaturen.

Voor het signaleren van de beide te verwachten invloeden, die hierboven kort werden aangeduid als kusteffect en breedte-effect, zouden tenminste vier stations nodig zijn, als volgt gekarakteriseerd:

1. noordelijk „maritiem”
2. noordelijk „continentaal”
3. zuidelijk „maritiem”
4. zuidelijk „continentaal”.

In genoemde volgorde zou men hier bijvoorbeeld voor kunnen nemen:

1. Den Helder
2. Witteveen
3. Vlissingen
4. Maastricht, ev. Gemert.

Het is evenwel niet aan te bevelen, zich tot dit minimum aantal te beperken, daar dan vrijwel geen contrôle mogelijk is op toevallige afwijkingen. Naar de andere kant wordt het aantal te bewerken stations beperkt 1°. door de noodzaak om van de betreffende stations te beschikken over een voldoende lange en volledige reeks meteorologische waarnemingen, 2°. door praktische overwegingen inzake de hoeveelheid uit de bewerking voortvloeiend rekenwerk.

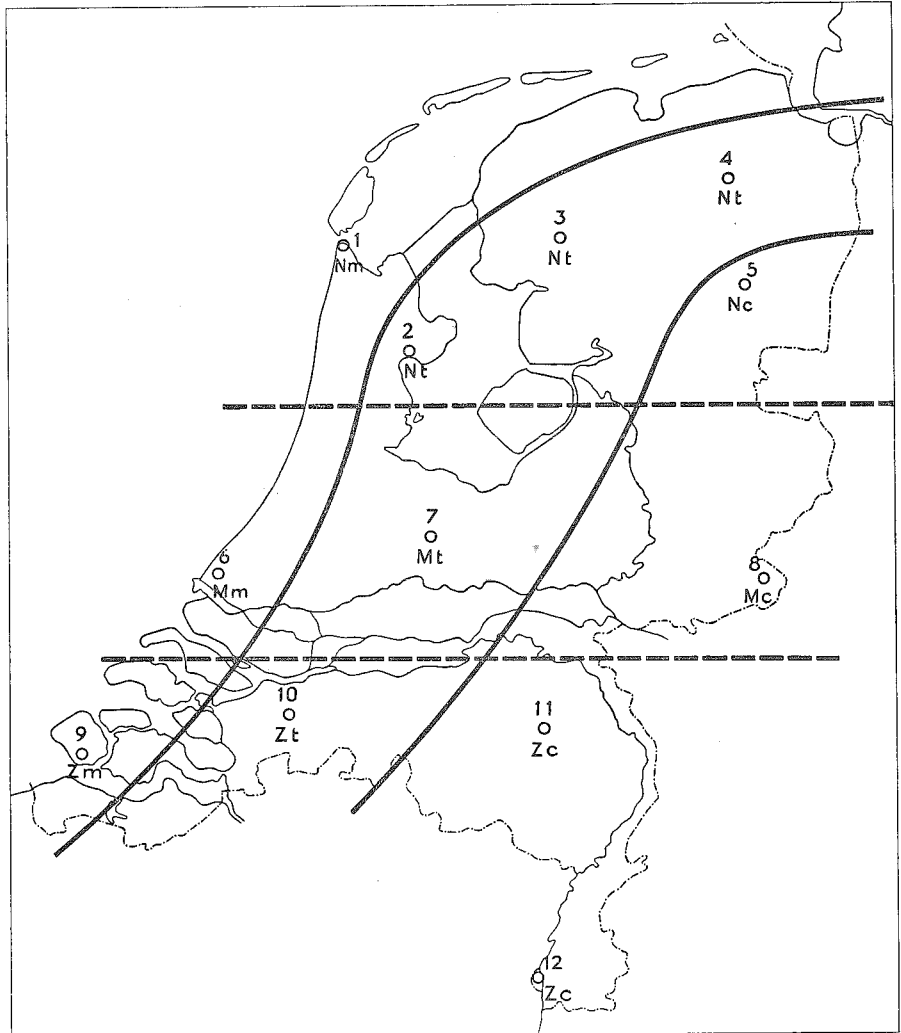


FIG. 2. Ligging der 12 stations, waarvoor de berekeningen van de verdamping zijn uitgevoerd. Verdeling van het land naar breedtegraad en naar afstand tot de kust

Op grond hiervan werd besloten de berekeningen uit te voeren voor een twaalfstal termijnstations, waarvan de ligging en nummeraanduiding op de kaart (fig. 2) is aangegeven. Deze stations zijn 1 (Den Helder), 2 (Hoorn), 3 (Joure), 4 (Eelde), 5 (Witteveen), 6 (Naaldwijk), 7 (De Bilt), 8 (Winterswijk), 9 (Vlissingen), 10 (Oudenbosch), 11 (Gemert), 12 (Vliegveld Zuid Limburg) en als volgt gegroepeerd:

A.: Groep Noord (N):	1, 2, 3, 4, 5	B.: „Maritiem” (m):	1, 6, 9
Groep Midden (M):	6, 7, 8	„Continental” (c):	5, 8, 11, 12
Groep Zuid (Z):	9, 10, 11, 12	Tussengroep (t):	2, 3, 4, 7, 10.

Deze groepering wordt door de ligging der stations min of meer gesuggereerd, althans wat de verdeling sub A betreft. De verdeling sub B is minder geprononceerd door de ligging der stations; hier wordt min of meer vooruit gegrepen op de verdeling volgens het windpatroon. Ook is deze verdeling meer willekeurig dan die sub A, bijv. wat betreft de indeling der stations 2 en 5.

2.2 De keus van het tijdvak

Bij het vaststellen van het tijdvak, waarover de gemiddelden berekend zullen worden, moest ook weer een compromis worden gevonden tussen de eis van de statistische betrouwbaarheid, waarvoor zo lang mogelijke reeksen gewenst zijn en de praktische eisen van de aanwezigheid van voldoende nauwkeurige, volledige en vergelijkbare reeksen van simultane waarnemingen. Bij vergelijking van de gegevens die van de bovengenoemde stations aanwezig zijn bleek een twintig-jarige reeks geformeerd te kunnen worden, omvattende de jaren 1933 t.e.m. 1953 met uitzondering van 1940. In laatstgenoemd jaar zijn tengevolge van de oorlogstoestand verschillende waarnemingsreeksen onvolledig.

De verdampingsgemiddelden zijn berekend voor periodes van een maand. In totaal zijn dus (voor de 12 stations) $12 \times 20 \times 12 = 2880$ verdampingsgetallen berekend.

2.3 De wijze van uitvoering der berekeningen

Om de bijna 3000 afzonderlijke berekeningen binnen redelijke tijd te kunnen uitvoeren werd gebruik gemaakt van het nomogram voor de berekening van de Penman-formule, dat ontworpen is door P. J. RIJKOORT. Een beschrijving van dit nomogram is te vinden in een eerder verschenen rapport van het K.N.M.I. [16].

2.4 De meteorologische basis-gegevens

De voor de berekening benodigde meteorologische gegevens zijn, zoals boven reeds werd vermeld: *temperatuur, relatieve vochtigheid, zonneshijnpercentage en windsnelheid.*

2.4.1 Temperatuur

Op de termijnstations wordt drie maal per dag en wel om 8^h-, 14^h- en 19^h- de luchttemperatuur afgelezen op een kwikthermometer in de Stevenson-hut op 2,20 m boven de grond.

Besloten werd het rekenkundig gemiddelde van deze 3 temperaturen, de gemiddelde overdag-temperatuur, bij de verdampingsberekeningen te gebruiken. Hierbij wordt afgeweken van de door PENMAN toegepaste wijze van werken, waarbij het gemiddelde van dagelijks maximum en minimum als temperatuur-indicator wordt genomen [4, p. 128]. De reden van deze afwijking is gelegen in het feit dat berekeningen van de verdamping (evapotranspiratie) van begroeide bodem dikwijls op de voor het vrije wateroppervlak geldende E_o -waarden volgens PENMAN worden betrokken. In dit geval komt het ons beter voor bij de vergelijking van 2 stations uit te gaan van E_o -waarden die gebaseerd zijn op de gemiddelde overdagtemperatuur dan van waarden die berekend zijn met behulp van $\frac{1}{2}(t_{max} + t_{min})$ of het 24-uurgemiddelde, aangezien de verdamping der gewassen vrijwel uitsluitend bij daglicht plaats vindt en de verhouding der overdagtemperaturen dus meer adequaat zal zijn aan de verdampingsverhouding van begroeide bodem dan dat met het etmaalgemiddelde het geval is.

De door ons gevolgde wijze van temperatuurberekening levert iets hogere verdampingswaarden dan het gebruik van etmaalgemiddelden.

In tabel A 1 zijn voor een drietal stations, alsmede voor de gemiddelden van alle termijnstations weergegeven de verschillen tussen de bovenvermelde drie soorten van temperatuurgemiddelden:

a = etmaal-gemiddelde

b = gemiddelde overdagtemperatuur

c = halve som van gemiddelde maximum- en gemiddelde minimumtemperatuur.

Voor a , b en c zijn hierbij genomen de *40-jarige maandnormalen* van de betreffende grootheden, berekend over de periode 1911–1950.

Alle verschillen zijn opgegeven in °C.

Men ziet, dat het exces van b ten opzichte van a en van c het grootst is in de zomermaanden, en dat het op de landinwaarts gelegen stations (De Bilt, Maastricht) groter is dan op de maritieme stations (Den Helder). Terwijl het gemiddelde van maximum- en minimumtemperatuur het etmaal-gemiddelde slechts overtreft met bedragen tot de orde van een halve graad Celsius, kan het verschil tussen gemiddelde overdag-temperatuur en gemiddelde etmaal-temperatuur in de zomermaanden op land-stations anderhalf tot bijna 2°C bedragen (dit zijn verschillen in de normalen, dus in afzonderlijke gevallen kan het méér zijn).

TABEL A 1 *Vergelijking van etmaalgemiddelde, overdaggemiddelde en gemiddelde van dagelijks maximum en minimum der temperatuur*

	Den Helder			De Bilt			Maastricht			Landsgemiddelde		
	<i>b-a</i>	<i>c-a</i>	<i>b-c</i>	<i>b-a</i>	<i>c-a</i>	<i>b-c</i>	<i>b-a</i>	<i>c-a</i>	<i>b-c</i>	<i>b-a</i>	<i>c-a</i>	<i>b-c</i>
jan	0,1	-0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,2
feb	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
mrt	0,4	0,2	0,2	0,9	0,5	0,4	0,8	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4
apr	0,4	0,1	0,3	1,3	0,3	1,0	1,1	0,3	0,8	1,3	0,5	0,8
mei	0,7	0,3	0,4	1,8	0,4	1,4	1,6	0,3	1,3	1,7	0,4	1,3
jun	0,6	0,2	0,4	1,9	0,5	1,4	1,7	0,4	1,3	1,8	0,3	1,5
jul	0,6	0,2	0,4	1,7	0,4	1,3	1,6	0,6	1,0	1,5	0,3	1,2
aug	0,6	0,1	0,5	1,5	0,4	1,1	1,3	0,4	0,9	1,3	0,1	1,2
sep	0,5	-0,1	0,6	1,1	0,4	0,7	1,1	0,6	0,5	0,9	0,2	0,7
okt	0,3	0,0	0,3	0,8	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	0,4	0,0	0,4
nov	0,2	0,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	-0,1	0,2
dec	0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,2

a = etmaal gemiddelde (1911–1950)

b = gemiddeld overdag (1911–1950)

c = $\frac{\text{gem. dagmax.} + \text{gem. dagmin.}}{2}$ (1911–1950)

2.4.2 Relatieve vochtigheid van de lucht

De in de berekeningen gebruikte waarden van deze grootte zijn ontleend aan de Maandelijks Overzichten der Weersgesteldheid in Nederland. In deze overzichten worden onder het hoofd „Betrekkelijke luchtvochtigheid (gemiddeld)” voor alle termijnstations weergegeven de op hele percenten afgeronde gemiddelden der 3-maal-daagse waarnemingen (te 8^h-, 14^h- en 19^h- middelb. plaatselijke tijd). Wij hebben hier dus eveneens met een soort van „overdaggemiddelde” te maken. Door PENMAN wordt de keus van de te gebruiken waarde voor de luchtvochtigheid met weinig zorg behandeld.

Bij zijn metingen in Rothamsted bepaalde hij het dauwpunt aanvankelijk slechts éénmaal per dag (l.c. 4, p. 128); daar dit toch tot moeilijkheden leidde werden later correcties aangebracht met gegevens van het Met. Office te Dunstable, al waar 4 maal per dag met intervallen van 6 uur het dauwpunt werd bepaald.

Met behulp van door BRAAK [9] opgestelde tabellen van de gemiddelde dagelijkse gang van de relatieve vochtigheid [l.c. p. 24, 25, tab. 8 en 9] kunnen wij een overzicht samenstellen van de verschillen tussen de diverse methoden voor de bepaling van een karakteristiek getal voor de relatieve vochtigheid, toegepast op Nederlandse omstandigheden.

TABEL A.2 *Vergelijking van verschillende karakteristieken voor de relatieve vochtigheid*

	De Bilt					Den Helder										
	a	b	c	d	a-b	a-c	a-d	a-d'	a	b	c	d	a-b	a-c	a-d	a-d'
jan	88,6	90	88,5	87,7	-1	0,1	0,9	0,3	88,5	89	88,3	88,0	0	0,2	0,5	0
feb	85,7	89	86,0	84,3	-3	-0,3	1,4	0	86,6	88	86,5	86,3	-1	0,1	0,3	-0,6
mrt	81,5	83	81,3	77,7	-1	0,2	3,8	0,7	84,5	86	84,3	83,7	-1	0,2	0,8	-0,8
apr	79,0	77	79,5	73,0	2	-0,5	6,0	1,7	82,3	83	83,0	79,3	-1	-0,7	3,0	0,3
mei	77,7	72	77,8	70,3	6	-0,1	7,4	2,5	80,3	78	80,3	78,0	2	0	2,3	-0,7
jun	78,0	73	77,8	70,3	5	0,2	7,7	2,8	79,8	77	79,5	77,3	3	0,3	2,5	-0,7
jul	79,8	75	79,8	73,0	5	0	6,8	2,5	80,2	78	80,5	77,7	2	-0,3	2,5	-0,6
aug	80,6	79	80,3	76,0	2	0,3	4,6	1,1	79,6	78	79,7	77,3	2	-0,1	2,3	-0,9
sep	82,5	82	82,5	79,7	1	0	2,8	0,2	79,0	78	79,3	77,0	1	-0,3	2,0	-1,3
okt	86,9	89	86,8	85,0	-2	0,1	1,9	0,6	82,5	83	82,7	81,3	0	-0,2	1,2	-1,0
nov	89,2	92	89,3	87,7	-3	-0,1	1,5	0,9	85,3	85	85,3	85,0	0	0	0,3	-0,9
dec	90,4	92	90,5	89,7	-2	-0,1	0,7	0,6	88,1	89	88,0	88,0	-1	0,1	0,1	-0,4

Wij vergelijken voor 2 stations, n.l. een „land”station (De Bilt) en een kuststation (Den Helder) de volgende 4 stellen maandnormalen van de relatieve vochtigheid (in procenten):

- a. 24-uurgemiddelde (= gem. van de 24 aflezingen per etmaal op de hele uren)
- b. aflezing te 9^h.00 (PENMAN oorspronkelijk)
- c. gemiddelde der aflezingen van 06, 12, 18 en 24^h (Dunstable; PENMAN gecorr.)
- d. gemiddelde der aflezingen te 08, 14 en 19^h (onze methode).

Uit dit overzicht blijkt het volgende:

- 1°. De verschillen (a-c) zijn steeds zeer gering (< 1 % R.V.). Als wij dus het 24-uurs-gemiddelde (a) als beste representatieve waarde voor de relatieve vochtigheid aannemen, kan ook zeer goed volstaan worden met de (o.a. in Dunstable toegepaste) methode van aflezing der relatieve vochtigheid 4 maal per etmaal, n.l. om 06, 12, 18 en 24^h.
- 2°. Een aflezing éénmaal per dag en wel om 9^h.00 geeft inderdaad een veel grovere benadering, hetgeen blijkt uit de verschillen (a-b). In de zomer geeft de 9^h.00-aflezing ons een te lage waarde voor de relatieve vochtigheid, in de winter een te hoge. De verschillen zijn in het binnenland groter dan aan de kust.
- 3°. Het gemiddelde der 3 maal-daagse waarnemingen (08, 14 en 19^h) is steeds lager dan het 24-uurs-gemiddelde; de verschillen zijn in de zomer groter dan in de winter en in het binnenland groter dan aan de kust. Gemiddeld is dit verschil in de zomer op landstations van de orde van 7 % rel. vochtigheid.

Tenslotte wijze wij nog even op de mogelijkheid van het aanbrengen van een correctie, wanneer men het 24-uurs-gemiddelde beter wil benaderen terwijl men slechts de beschikking heeft over de 3 termijnwaarnemingen van 08, 14 en 19^h. Men vult deze 3 waarnemingen dan aan met een denkbeeldige vierde waarneming om circa 02 of 03^h.

Uit de tabellen van BRAAK (l.c. 9 p. 247) ziet men, dat de gemiddelde waarde van de relatieve vochtigheid om deze uren van de dag te De Bilt ca 92 % bedraagt, te Den Helder ca 86 %. Wil men eenvoudigheidshalve met één waarde voor het hele land werken, dan kan men daarvoor dus nemen een vaste waarde (niet veranderen in tijd en plaats) van bijvoorbeeld 90 %.

Zijn h_8 , h_{14} en h_{19} de maandgemiddelden der aflezingen resp. om 08-, 14- en 19^h, dan is het overdaggemiddelde

$$d = \frac{h_8 + h_{14} + h_{19}}{3}$$

a (tabel A 2) is het maandgemiddelde der 24-uurswaarnemingen.

Vervangt men nu d door $d' = \frac{3d + 90}{4}$, dan krijgt men de verschillen (in %),

die opgegeven zijn in de laatste kolom ($a-d'$) van tabel A 2.

De grootste afwijking in de gemiddelde maandwaarden (juni) bedraagt nu voor De Bilt + 2,8 % tegen + 7,7 % in de kolom ($a-d$), hetgeen dus reeds een zeer belangrijke verbetering betekent. Ook voor Den Helder levert de hier geschetste methode enige verbetering, althans voor de zomermaanden. Vanzelfsprekend kan men desgewenst de methode verfijnen door de gefingeerde vierde waarneming een waarde te geven die wèl aan tijd en plaats aangepast is, waardoor het resultaat nog beter, doch de bewerking iets ingewikkelder wordt.

Dat bij de berekening van de hier besproken verdampingsgetallen nochtans van de ongecorrigeerde overdag-gemiddelden van de relatieve vochtigheid gebruik is gemaakt, berust ook weer op dezelfde overweging als bij de bespreking van de temperatuur onder 2.4.1 naar voren is gebracht, namelijk dat met het oog op vragen betreffende verdamping van gewassen de overdag-waarden een betere basis voor vergelijking beloven dan de etmaal-gemiddelden.

2.4.3 Zonneschijnpercentage

Metingen van de zonneschijnduur worden niet op alle twaalf bij dit onderzoek gebruikte stations uitgevoerd. Voor het berekenen van de zonneschijnpercentages waren wij dus aangewezen op door interpolatie verkregen gegevens.

Over de eerste twee jaren van het onderzoek 1933 en 1934, beschikken wij slechts over zonneschijnduur-metingen met de zonneschijnautograaf van CAMPBELL-STOKES op de 5 hoofdstations: Groningen, Den Helder, De Bilt, Vlissingen en Maastricht.

Over het tijdvak 1935 t.e.m. 1939 en 1941 t.e.m. 1942 is de situatie in deze wat Nederland betreft niet veranderd, doch beschikken wij daarnaast over gegevens van een aantal Duitse stations dicht bij de Nederlandse grens, zoals Emden, Quakenbrück, Münster, Mühlheim, Aachen, Bonn, en nog enkele andere waarvan de gegevens niet voor alle maanden in het genoemde tijdvak voorhanden waren. Zoals door LEVERT [15] is uiteengezet, geeft de vergelijking van de Duitse met de Nederlandse getallen moeilijkheden; niettemin bestond er in verschillende gevallen aanleiding, de oorspronkelijk op grond van uitsluitend Nederlandse gegevens getekende isoheliënpatronen te wijzigen na confrontatie met de cijfers der Duitse stations.

De zonneschijnpercentages voor 1943 in januari t.e.m. maart 1944 zijn weer berekend uitsluitend op grond van de gegevens van de 5 Nederlandse hoofdstations, daar voor dit tijdvak de Duitse gegevens ontbreken.

Vanaf april 1944 komt geleidelijk naast de 5 hoofdstations een aantal nieuwe zonneschijn-stations in werking, aanvankelijk ten behoeve van een door LEVERT [14] verricht detail-klimatologisch onderzoek naar de invloed van de

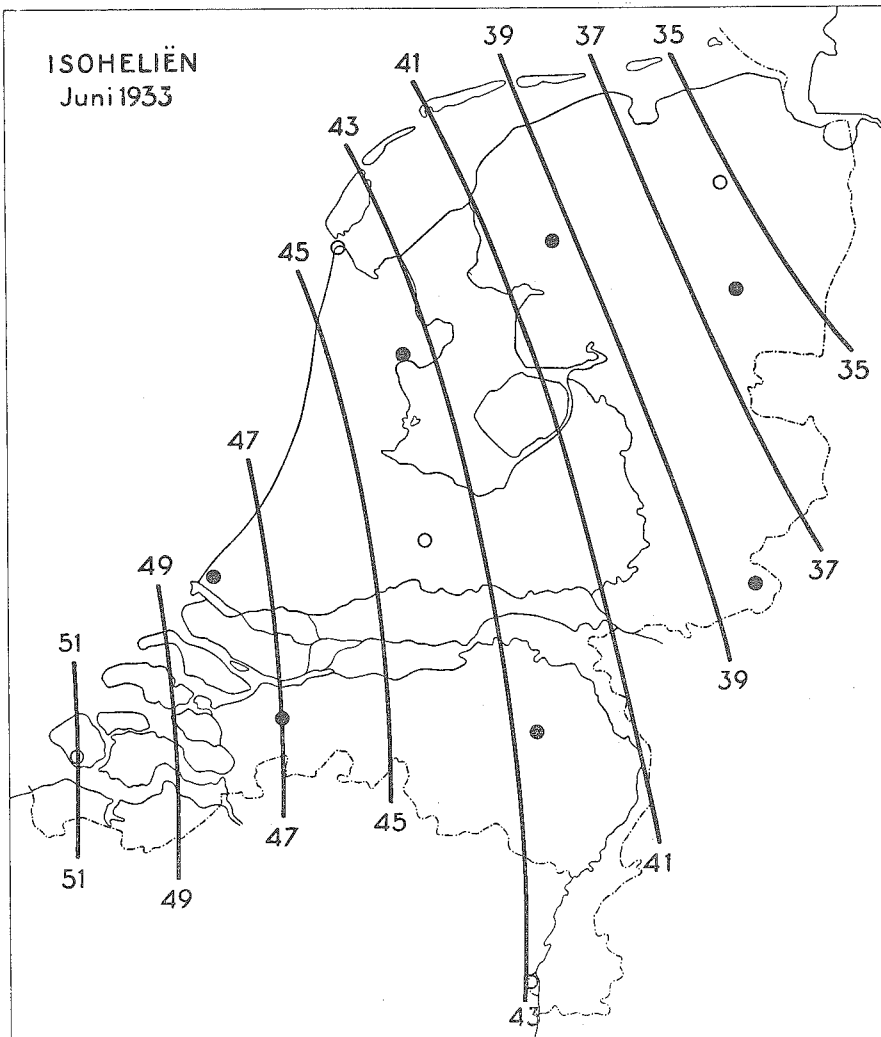


FIG. 3. Isoheliënpatroon juni 1933

- hoofdstations, uitgerust met Campbell-Stokes-autograaf
- stations verdampingsonderzoek met geïnterpoleerde zonnenschijnpercentages

inpolderingen op het klimaat rond het IJsselmeer, zodat de eerste van deze nieuwe stations rond dit meer geconcentreerd liggen. Voornamelijk tussen 1948 en 1950 komen daar ook in andere gebieden stations bij bijv. in de richting W-O in het mondingsgebied van de grote rivieren en een kleinere dergelijke

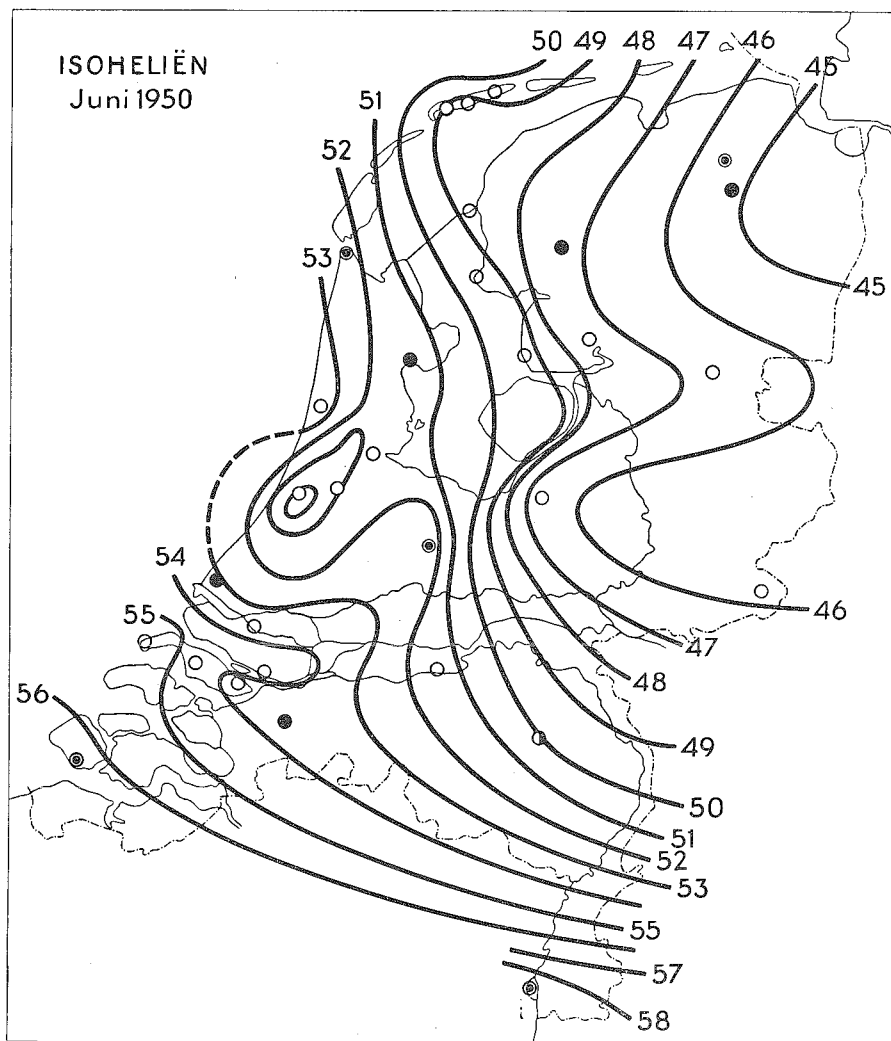


FIG. 4. Isoheliënpatroon juni 1950

- hoofdstations
- zonneschijnstations
- stations verdampingsonderzoek

raai op Terschelling. Op het kaartje van december '49 zijn reeds 28 zonneschijnstations op Nederlands grondgebied aangegeven; bij het eind van onze onderzoek-periode (dec '53) zijn er eveneens 28. Het is duidelijk dat in de eerste

10 jaren van onze verslagperiode, toen de isoheliënpatronen in hoofdzaak op de gegevens van de 5 hoofdstations berustten, deze patronen een veel minder gedetailleerd en minder betrouwbaar beeld leverden dan in het tweede 10-tal jaren, toen men per maand meestal meer dan 20 getallen in het patroon kon verwerken. Ter vergelijking geven wij als voorbeeld uit elk dezer tijdvakken een maandkaartje, n.l. resp. dat van juni 1933 en van juni 1950 (fig. 3 en 4).

De bepaling van de zonneshijnpercentages voor de stations, die geen eigen zonneshijnmetingen hadden (in het begin 7 van de 12, later 6, nadat Gemert een eigen autograaf had gekregen) geschiedde, zoals boven aangeduid is, door interpolatie op de isoheliënkaartjes.

2.4.4 Windsnelheid

De berekeningsmethode van PENMAN vereist substitutie in de formule van de gemiddelde windsnelheid over de berekeningsperiode (hier: per maand) op 2 m boven de grond.

De bepaling van deze grootte voor de 12 stations vormde een nog lastiger probleem dan de bepaling van het juiste zonneshijnpercentage.

Windsnelheidsmetingen op 2 m boven de begane grond worden vrijwel nergens uitgevoerd. In ieder geval moesten dus uitkomsten van metingen op andere niveaus tot deze hoogte worden herleid. Bovendien is het aantal stations waar gedurende het tijdvak van ons onderzoek, instrumentele windsnelheidsregistraties werden verricht, slechts zeer gering en zijn de moeilijkheden bij de vergelijking van de uitkomsten dezer metingen zeer groot wegens de ongelijkheid van de verschillende opstellingen en apparaturen. Een op moderne instrumentele gegevens berustend systematisch onderzoek naar de windsnelheidsverdeling over Nederland is nog niet verricht, zodat de voor ons onderzoek benodigde gegevens incidenteel moesten worden verworven.

Door de waarnemers op de termijnstations wordt dagelijks op 3 vaste tijdstippen (08, 14 en 19^h) de windsnelheid geschat volgens de schaal van BEAUFORT.

Deze schattingen vormen de enige gegevens, die rechtstreeks informatie geven over de verhouding der windsterkten op alle bij dit onderzoek gebruikte stations. Het zou dus uit het oogpunt van eenvoudigheid der bewerking zeer verkieslijk geweest zijn, als wij aan deze cijfers voldoende hadden gehad voor het vaststellen van de onderlinge verhoudingen der stations maand voor maand, waarna dan door combinatie van de Beaufort-schattingen van de hoofdstations met de aldaar uitgevoerde instrumentele waarnemingen de absolute grootte van de gemiddelde windsnelheid maand voor maand en station voor station berekend had kunnen worden.

Helaas bleek het volgen van deze weg niet mogelijk. De maandgemiddelden van de Beaufort-schattingen van de diverse stations vormden namelijk een zeer inhomogeen materiaal, waarin bij onderlinge vergelijking een groot aantal zeer onwaarschijnlijke afwijkingen bleken voor te komen. Niet alleen wordt op

bepaalde stations blijkbaar systematisch te hoog resp. te laag geschat, op verschillende stations komen bovendien van tijd tot tijd spronggewijze veranderingen in het niveau van de schatting voor, bijvoorbeeld doordat een andere waarnemer in functie komt of doordat de waarnemer reageert op een aanwijzing terzake van het niveau van zijn schattingen, die hem vanwege het hoofdstation wordt gegeven. Ook kunnen veranderingen in de locale omgeving van de plaats waar de schattingen worden verricht, aanleiding zijn tot het min of meer plotseling dan wel geleidelijk veranderen van het niveau van de schattingen. Al deze factoren zijn onmogelijk quantitatief in rekening te brengen, zodat de Beaufort-schattingen geen bruikbare basis leveren voor het vergelijken der werkelijke windsnelheden in de afzonderlijke maanden en op de afzonderlijke stations.

Wij hebben daarom voor het verkrijgen van een aanvaardbare benadering van de gemiddelde windsnelheden een andere weg gevolgd, waarbij wij van de volgende veronderstellingen zijn uitgegaan:

- a. Vergelijken wij de windsnelheid, op dezelfde hoogte en op dezelfde wijze gemeten, in een kuststation A en een meer landinwaarts gelegen station B (wij noemen de gemeten snelheden resp. v_A en v_B), dan zal in 't algemeen v_A groter zijn dan v_B . Voor winden die over zee komen ligt dat wel voor de hand, echter is o.m. door BRAAK [11] reeds opgemerkt, dat hetzelfde, zij het in mindere mate, ook geldt voor landwinden, in ons geval dus oostelijke winden (l.c. p. 33, 34).
- b. De verhouding tussen de windsnelheden v_A en v_B hangt samen met:
 - 1°. de afstand tussen A en B,
 - 2°. de gesteldheid van het terrein tussen A en B (vlak of geaccidenteerd, begroeid (bebouwd) of kaal etc.),
 - 3°. de richting van de wind,
 - 4°. de „snelheid” van de wind,
 - 5°. het „type” van de wind (buiig, dan wel met meer constante snelheid waiend, e.d.).
- c. De bij punt b. onder 1°. genoemde factor is invariant in de tijd, de factor onder 2°. eveneens, behoudens „seculaire” veranderingen, en seizoenveranderingen samenhangend met de boom- en plantengroei. De overige factoren zijn weliswaar veranderlijk, doch hun waarden gemiddeld, over redelijk lange tijdvakken en gelegen in overeenkomstige seizoenen (dus bijv. over gelijknamige maanden), zijn niet erg veranderlijk. Bovendien is blijkbaar de verhouding v_A/v_B slechts vrij zwak afhankelijk van deze variabelen.
- d. Het lijkt dus geoorloofd, met een voldoende mate van betrouwbaarheid voor de verhouding v_A/v_B een constante, of hoogstens met het seizoen veranderende, waarde aan te nemen.

Wanneer wij de onder *d.* genoemde aanname aanvaardden, komen wij dus tot een vast patroon van lijnen van gelijke gemiddelde windsnelheid (isotachenpatroon), waarvan wij dan op grond van bovengenoemde overwegingen aannemen, dat het de werkelijke verhoudingen in de verschillende maanden voldoende benadert. Wij zijn ons er van bewust dat er in bepaalde maanden aanzienlijke afwijkingen van dit patroon kunnen zijn opgetreden bijv. door plaatselijke stormen, doch wij achten de fouten tengevolge van het als juist aanvaardden van de bovengenoemde Beaufort-schattingen – met hun grote incidentele afwijkingen – nog ernstiger.

Wanneer men dit systeem van vaste verhoudingen tussen de windsnelheden op de diverse stations aanvaardt, heeft men de individuele Beaufort-schattingen niet nodig doch kan men, ter bepaling van de diverse windsnelheden in absolute maat, volstaan met metingen in één punt van het net, waarvoor men dan dát station kan kiezen waarvan men de metingen het meest betrouwbaar acht.

De vraag is nu of men over voldoende gegevens beschikt om tot een betrouwbaar isotachenpatroon te komen. De „betrouwbaarheid” van een dergelijk patroon is slechts aan twee criteria te toetsen: 1°. het patroon moet een uit fysisch-klimatologisch oogpunt aanvaardbare gedaante hebben; 2°. bij voorkeur moet men op grond van méér dan één stel „onafhankelijke” gegevens een patroon ontwerpen; de langs verschillende wegen ontstane patronen moeten dan een bevredigende overeenstemming vertonen. Aan de laatstgenoemde eis kon voldaan worden, doordat wij de verhouding van de gemiddelde windsnelheden in de 12 stations langs vier (gedeeltelijk) onafhankelijke wegen konden berekenen.

Alvorens deze vier methoden te bespreken merken wij nog op, dat wij rekening houdende met de door BRAAK [11, p. 34, 35] opgemerkte seizoenverschillen in de verhouding der gemiddelde windsnelheden van de kuststations t.o.v. De Bilt, gewerkt hebben met twee patronen, t.w. een zomerpatroon, geldend in de maanden mei t.e.m. oktober, en een winterpatroon voor de overige 6 maanden. Wij hebben ons hierbij laten leiden door de gedachte dat het zomerpatroon moet gelden in de maanden, waarin de loofbomen in blad staan, het winterpatroon in de tijd dat deze bomen kaal zijn (vgl. BRAAK [12], p. 35).

Ons eerste stel verhoudingsgetallen berust op onderzoek van BRAAK, beschreven in de meervermelde publikaties Med. en Verh. 32 en 46 [11, 12].

Bij dit onderzoek werden hoofdzakelijk reeksen van instrumentele waarnemingen vergeleken. Zij zijn afkomstig van de hieronder vermelde stations en de maandgemiddelden werden berekend over de achter de stationsnamen vermelde reeksen van jaren en gereduceerd op het tijdvak 1901–1930.

Behalve de bovengenoemde zijn nog verwerkt korte reeksen van instrumentele waarnemingen op een aantal plaatsen, als Lopikerwaard, Hillegersberg, Kinderdijk, Den Oever, Barendrecht, Urk, Gees, Eefde, Wageningen, Oudewetering, Dirksland.

	Station	Tijdvak	Gebruikt instrument	Hoogte van instr. boven de grond (m)	Effectieve hoogte (m)	
Hoofdstations van het K.N.M.I.	De Bilt	{	1899-1900	Robinson	37	20
			1902-1939	anem.		
	Den Helder Groningen	{	1922-1939	Dines	14	6
			1906-1939	Robinson	31	11
	Vlissingen	{	1915-1939	Robinson	13	{ 6 tot 1929 daarna 13
Maastricht	{	1905-1916	Dines	32	12	
		1926-1939				
Filiaal-inrichtingen van het K.N.M.I.	Amsterdam	{	1935-1939	Robinson	30	25
			(1902-1930 gereduceerd naar De Bilt)			
	Rotterdam	{	1927-1939	Robinson	29	14
Stations van de Rijkswaterstaat	Hoek van Holland	{	1926-1939	Drukplaat	21	11
				Anemobia-graaf	25	12,5
	IJmuiden Vlieland	{	1926-1939	(Negretti & Zambra)	13	9
				Rottumeroog	12,5	9
Vliegvelden	{	1938-1939	Anemobia-graaf	Schiphol	16	10
				Waalhaven	12	8

Tenslotte is ook rekening gehouden met de Beaufort-schattingen, verricht op de Nederlandse lichtschepen: Terschellingerbank, Haaks, Maas, Schouwenbank en Noord Hinder.

Alle instrumentele waarnemingen zijn gereduceerd op een uniforme hoogte van 6 meter boven vlak terrein.

De resultaten van de vergelijking der bovengenoemde stations zijn door BRAAK [12, p. 31-34] samengevat in de vorm van een 3-tal isotachen-kaartjes, resp. geldend voor de winter (dec-feb), de zomer (jun-aug) en het hele jaar. De eerstgenoemde twee kaartjes zijn door ons gebruikt om, waar nodig met behulp van interpolatie, verhoudingsgetallen ten opzichte van De Bilt te berekenen voor de in ons onderzoek betrokken 12 stations, resp. voor het „winter”- en het „zomer”-halfjaar. De gemiddelde windsnelheden van alle stations werden daarbij uitgedrukt in procenten van de gemiddelde snelheden in De Bilt. Hieronder volgt het resultaat:

Gemiddelde windsnelheid op 12 stations in procenten van de windsnelheid te De Bilt

Station no. ¹⁾	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter (nov-apr)	155	124	115	110	106	136	100	92	136	104	90	70
Zomer (mei-okt)	174	147	125	114	114	151	100	94	151	109	92	74

¹⁾ Zie kaartje fig. 2.

Het tweede stel verhoudingsgetallen is ontleend aan een (eveneens reeds eerder vermelde) studie van LEVERT: een détail-meteorologisch onderzoek over het klimaat langs de kusten, te verwachten invloed van verdere drooglegging van het IJsselmeer etc. [14]. Deze publikatie verscheen 9 jaar na de jongste der twee besproken verhandelingen van BRAAK. LEVERT bewerkte uitsluitend Beaufort-schattingen, afkomstig van ruim 60 stations over de jaren 1943-1950. Op verscheidene van deze stations (o.a. op de hoofdstations van het K.N.M.I.) werden tevens instrumentele waarnemingen gedaan; er is reden om aan te nemen, dat de van deze stations afkomstige Beaufort-schattingen niet onafhankelijk zijn van de instrumenteel gemeten windsterkten ¹⁾.

LEVERT heeft zich van de hierboven vermelde bezwaren tegen de Beaufort-schattingen uiteraard wel rekenschap gegeven; hij acht het niettemin mogelijk, ze te gebruiken voor zijn doel: na te gaan of het beloop van de isotachen zoals ze door BRAAK werden gegeven, bevestigd kon worden ²⁾.

Hierbij was uit hoofde van het doel van LEVERT's onderzoek de aandacht in het bijzonder gericht op het beloop in de buurt van het IJsselmeer. De uitkomsten van zijn bewerking van 8 jaar Beaufort-schattingen van ca. 60 stations zijn door LEVERT weergegeven o.m. in een tweetal isotachenkaartjes, toegevoegd aan zijn bovenvermeld rapport als fig. nos. 39 (zomerkaartje) en 40 (winterkaartje). Alle windsnelheden zijn daarin uit de Beaufort-schaal omgerekend in m/sec, via de relatie $B = 1,22 v^{3/5}$ als $B =$ gemiddelde windkracht in graden Beaufort en $v =$ windsnelheid in m/sec.

Er is kwalitatief overeenkomst met de kaartjes van BRAAK, kwantitatief zijn er belangrijke verschillen, hetgeen LEVERT wil verklaren o.m. uit de verschillende lengten der grondtijdvakken (l.c. p. 107).

Door interpolatie in de kaartjes van LEVERT vinden wij voor onze 12 stations de volgende gemiddelde snelheden, uitgedrukt wederom in procenten van de gemiddelde snelheden te De Bilt:

Station no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter	190	144	125	109	76	131	100	54	136	110	80	82
Zomer	194	135	148	112	95	163	100	56	151	109	71	65

¹⁾ LEVERT l.c. p. 107: „Het spreekt vanzelf, dat wij hierbij (d.i. bij het tekenen der isotachen de gegevens van de hoofd- en termijnstations het meest betrouwbaar hebben geacht”

²⁾ LEVERT l.c. p. 106: „Ofschoon soms betrekkelijk grote verschillen tussen de gemiddelde windsterkten van naburige stations optreden (welke, speciaal wanneer zij in een aantal achtereenvolgende maanden optreden, vrij zeker aan persoonlijke opvattingen toegeschreven kunnen worden) en ofschoon van sommige stations met zekerheid beweerd mag worden, dat men er meestal de windsterkte te laag of te hoog schat (subjectiviteit; lokale kwestie; zo schatten de waarnemers aan de zuidelijke en zuidoostelijke kant van het IJsselmeer vaak te hoog), kunnen wij toch vrij goed de isocurven onderkennen”.

De aanzienlijke verschillen die bij vergelijking van de twee bovenbeschreven methoden werden gevonden, gaven ons aanleiding zelf ook nog enige gegevens te bewerken.

Het derde stel verhoudingsgetallen dat wij aldus verkregen, berust, evenals het tweede, op Beaufort-schattingen. Wij hebben daarbij aangenomen, dat deze schattingen, hoewel zij in individuele gevallen, d.w.z. voor korte termijnen op één bepaald station, met grote „toevallige” (locale en persoonlijke) afwijkingen behept kunnen zijn, in de vorm van gemiddelden over een langere periode en na vergelijking van een ruim aantal stations, wel bruikbaar kunnen zijn om een redelijk betrouwbaar isotachenpatroon te ontwerpen.

Het aantal hier beschouwde stations bedraagt 25, n.l. behalve de 12 stations, gebruikt voor de berekening van de verdamping, nog de volgende: Hoorn (Terschelling), Holwerd (ged. Hallum, Wierum), Marknesse (Emmeloord), Dedemsvaart, Vliegveld Twenthe, Oude Wetering, Warnsveld (Almen), Andel, St. Janssteen, Venlo (Blerick), Sittard (Buchten), Vliegveld Zuid-Limburg, Maastricht II.

Het aantal jaren waarover werd gemiddeld bedraagt 7, n.l. van 1947 t.e.m. 1953.

In vergelijking tot het onderzoek van LEVERT heeft het hier beschrevene het voordeel, gebruik te maken van recente gegevens, waardoor met allerlei bijzonderheden van de stations en de wijze van waarnemen rekening gehouden kon worden. Van oudere waarnemingen zijn deze bijzonderheden veelal verloren gegaan.

Het aantal jaren is, ongeveer gelijk aan dat waarover LEVERT's onderzoek loopt; het aantal in aanmerking genomen stations is bij LEVERT ongeveer tweemaal zo groot. De uitkomsten van dit derde stel waarnemingen volgen hieronder, weer uitgedrukt in procenten van De Bilt:

Station no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter	199	135	129	142	149	150	100	67	152	117	85	78
Zomer	210	146	146	140	150	177	100	76	150	126	85	79

Tenslotte werd een vierde stel verhoudingsgetallen verkregen, evenals het eerstgenoemde uit instrumentele waarnemingen. Hiervoor werden gebruikt waarnemingen van drie hoofdstations: De Bilt, Den Helder, Vlissingen en van de vliegvelden: Eelde, Leeuwarden, Twenthe, Soesterberg, Schiphol, Valkenburg, Ypenburg, Volkel en Beek (Zuid-Limburg).

Ten behoeve van de synoptische waarnemingen wordt op de genoemde stations op ieder heel uur de windsnelheid genoteerd; wij namen daaruit de drie uurwaarden van 08-, 14- en 19^h (overeenkomstig met de termijnwaarnemingen)

en bepaalden maandgemiddelden door optelling van deze waarden en deling door 3 maal het aantal dagen der maand. De noodzakelijke reducties tot één niveau (+ 6 m) werden toegepast. De maandgemiddelden werden berekend over vijf jaar waarnemingen (1949 t.e.m. 1953) en weer samengevat in een „zomer“- en een „wintergroep“ overeenkomstig de eerder vermelde indeling. De waar nodig door interpolatie verkregen uitkomsten voor onze 12 stations volgen hieronder, weer uitgedrukt in procenten t.o.v. De Bilt:

Station no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter	142	126	110	116	106	110	100	88	110	105	95	97
Zomer	149	130	110	115	100	115	100	90	114	111	94	93

Vergelijken wij de uitkomsten van de vier besproken methoden dan zien wij, dat aan de eerste der op pag. 30 gestelde eisen wel is voldaan: uit fysisch-klimatologisch oogpunt zijn de ontstane patronen aanvaardbaar in zoverre ze alle hetzelfde type vertonen met isotachen ongeveer evenwijdig aan de kustlijn en de grootste windsterkten het dichtst bij de zee. Ook blijkt in het algemeen de gradiënt in de zomer sterker dan in de winter.

Aan de eis van kwantitatieve overeenstemming is echter maar vrij gebrekkig voldaan; wanneer wij de volgens de vier methoden berekende percentages ter vergelijking bij elkaar zetten blijken de verschillen toch nog al aanzienlijk.

TABEL A III. *Gemiddelde windsterkte op 12 stations uitgedrukt in procenten van de gemeten windsterkte te De Bilt (station no. 7), volgens 4 methoden benaderd*

Station no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter												
I BRAAK	155	124	115	110	106	136	100	92	136	104	90	70
II LEVERT	190	144	125	109	76	131	100	54	136	110	80	82
III BEAUFORT 1947-'53	199	135	129	142	149	150	100	67	152	117	85	78
IV INSTR. 1949-'53	142	126	110	116	106	110	100	88	110	105	95	97
Gem.	172	132	120	119	109	132	100	75	134	109	88	82
Zomer												
I BRAAK	174	147	125	114	114	151	100	94	151	109	92	74
II LEVERT	194	135	148	112	95	163	100	56	151	109	71	65
III BEAUFORT	210	146	146	140	150	177	100	76	150	126	85	79
IV INSTR.	149	130	110	115	100	115	100	90	114	111	94	93
Gem.	182	140	132	120	115	151	100	79	141	114	86	78

Wanneer men wil proberen het verband tussen de gemiddelde windsnelheid en de afstand tot de kust iets nader te preciseren komt men al direct te staan voor de moeilijkheid van de bepaling van een „kustlijn” die voor de windsnelheid reële betekenis heeft.

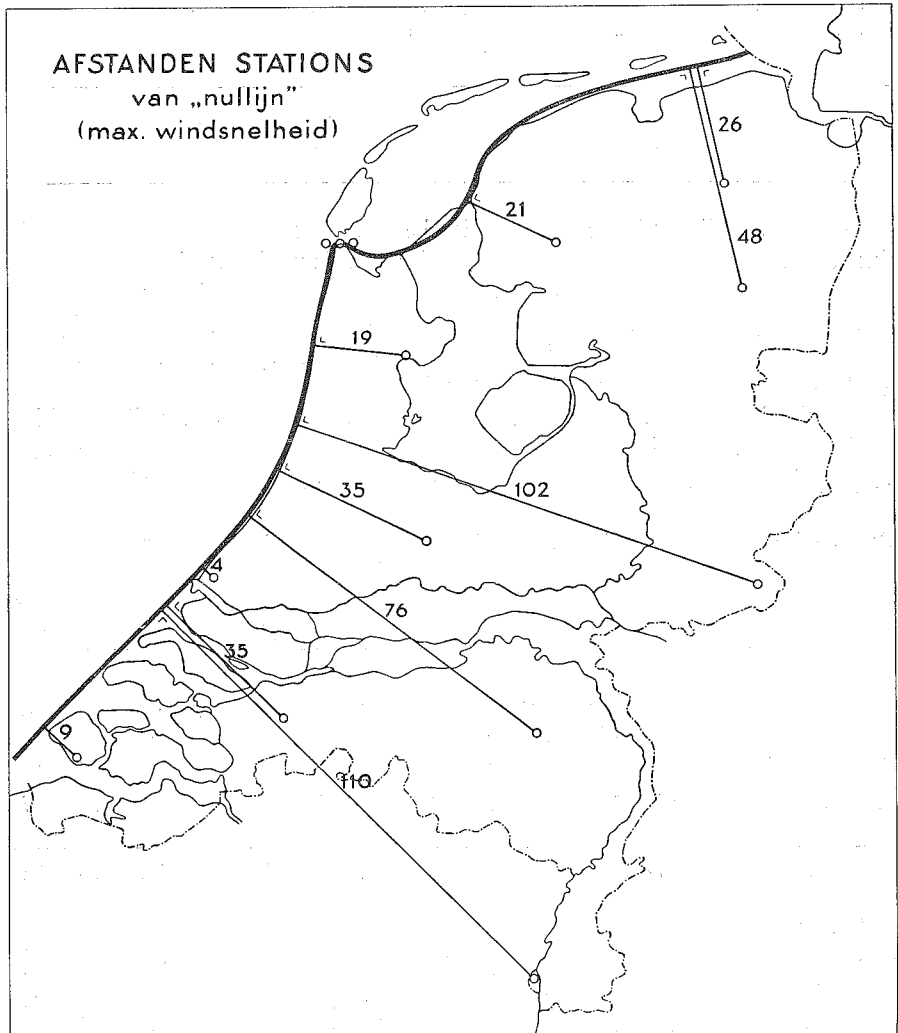


FIG. 5. Afstanden van de 12 stations tot een denkbeeldige „nul-lijn”, waarop de windsterkte maximaal is

Wij hebben gepoogd dit op te lossen door een kustlijn of nullijn aan te nemen die in de provincies Noord- en Zuid-Holland de aardrijkskundige kustlijn volgt en in Zeeland zich voortzet over de meest westelijke punten der eilanden Goeree, Schouwen en Walcheren. In het Noorden kan men deze nullijn niet langs de buitenrand van de Waddeneilanden leggen, omdat men mag aannemen dat tengevolge van de aanwezigheid van een brede open watervlakte tussen de eilanden Texel, Vlieland en Terschelling enerzijds en de Friese kust anderzijds, deze Waddeneilanden praktisch geen windschaduw op de Friese kust geven. Verder naar het Noordoosten moet de nullijn dan de Friese kust weer verlaten, omdat de zoveel dichterbij de kust liggende eilanden Ameland – Schiermonnikoog met de iets vooruitspringende noordwesthoek van Friesland het Wadden-gebied vermoedelijk wel wat zullen beschermen; wij hebben dus hier de nullijn niet langs de N.O.-Friese en de Groninger kust, maar midden over de Wadden laten lopen. Het eigenlijke IJsselmeer (binnen de afsluitdijk) hebben wij buiten beschouwing gelaten. In het kaartje (fig. 5) zijn loodlijnen getrokken van de 12 stations op de kustlijn; de afstanden van de stations tot de kustlijn, langs deze loodlijnen gemeten, zijn bij de loodlijnen geplaatst (in een willekeurige maat van ongeveer 1,45 km).

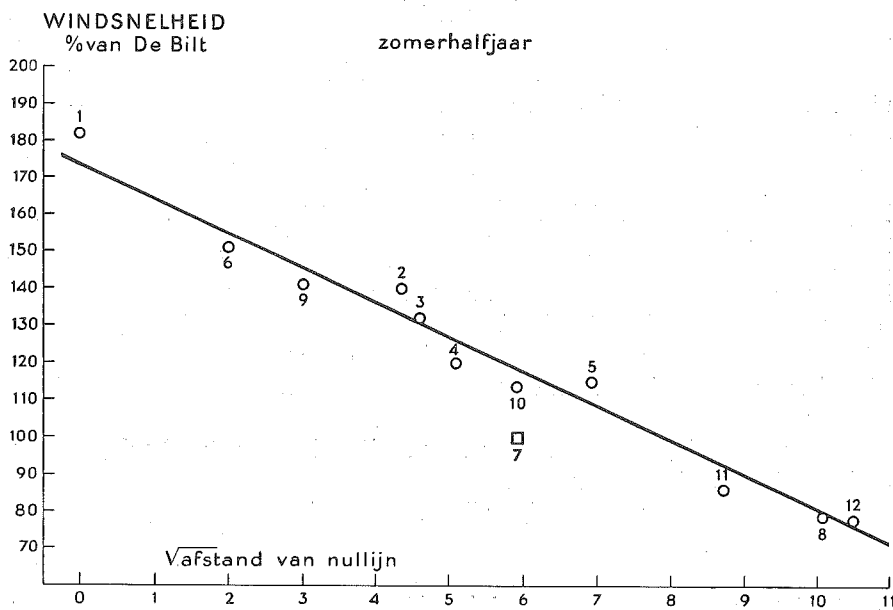


FIG. 6a. Verband tussen gemiddelde windsnelheid en afstand tot de nullijn in het zomerhalfjaar

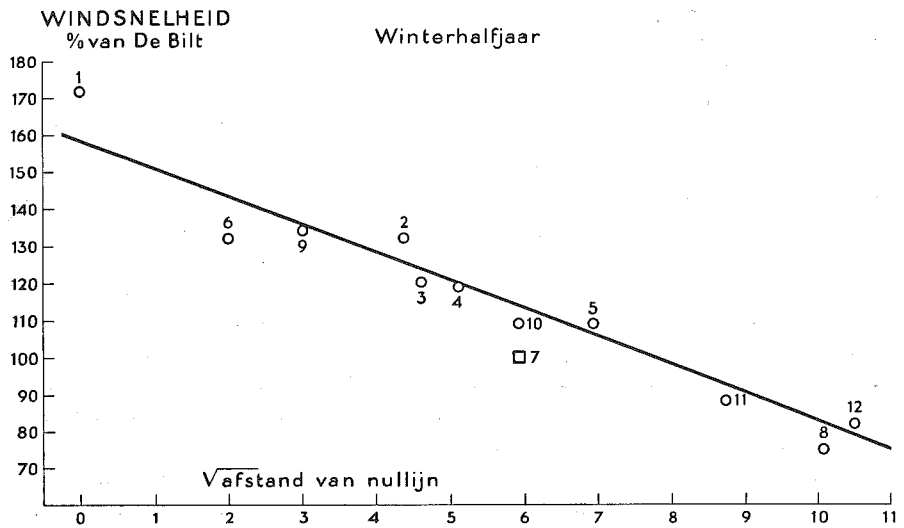


FIG. 6b. Verband tussen gemiddelde windsnelheid en afstand tot de nullijn in het winterhalfjaar

In de grafieken fig. 6a en 6b zijn de gemiddelde procentuele windsnelheden, waarvoor genomen is het gemiddelde van de waarden volgens de 4 methoden, van de 12 stations uit de tabel III respectievelijk voor „zomer” en „winter” uitgezet tegen de wortel uit de afstand; men ziet dat de formule $v_d = v_o - Cd^{\frac{1}{2}}$ (v_o = windsnelheid op de nullijn, v_d = snelheid op afstand d v/d nullijn, C = constante) een redelijke benadering is voor het verband tussen windsnelheid en afstand tot de „kustlijn”. In overeenstemming met de verwachting blijkt C in de zomer groter dan in de winter. Men ziet eveneens, dat station 7 (De Bilt) in beide figuren niet zo best bij de overige past: de snelheid in De Bilt is te laag in verhouding tot de afstand naar de kust. De oorzaak kan zijn, dat men bij het bepalen van de „verticale” reductiefactor voor De Bilt een minder juiste omrekeningsfactor heeft genomen, in dien zin dat de „aftrek” voor de locale beschutting te gering is genomen waardoor de gereduceerde windsnelheid is onderschat.

Welke verhoudingsgetallen moet men nu bij de Penman-berekening aan de onderscheiden stations toekennen?

Zonder twijfel zou men geneigd zijn aan de op instrumentele gegevens rustende cijfers (methoden I en IV) de meeste waarde toe te kennen, indien men maar voldoende vertrouwen kon hebben in de betrouwbaarheid en vergelijkbaarheid der instrumenten en in de juistheid van de toegepaste hoogtereducties; in dit geval zou methode I te verkiezen zijn boven IV wegens het veel groter aantal jaren. Helaas bestaat ten aanzien van de zo juist genoemde punten ge-

rechte twijfel. Bovendien is de verdeling van de instrumentele stations over het land verre van ideaal. De op schattingen berustende gegevens (methoden III en IV) vormen dus een zeer welkome aanvulling. Men krijgt niet de indruk dat er belangrijke systematische verschillen zijn tussen de uitkomsten van de instrumentele groep (I en IV) en de schatting-groep (II en III). De laatstgenoemde (II en III) mag men ook onderling als gelijkwaardig beschouwen.

Om al deze redenen zijn wij tot de volgende conclusie gekomen:

1. Het windsnelheidspatroon over Nederland werd onderzocht met behulp van 4 stel gegevens, verkregen volgens verschillende methoden, van verschillende stations en over verschillende reeksen jaren.
2. De verkregen uitkomsten, hoewel in grote lijnen overeenkomend, lopen kwantitatief vrij sterk uiteen.
3. Geen der 4 stellen gegevens is uit methodisch en statistisch oogpunt onaanvechtbaar. Er is geen doorslaggevende reden om het ene stel gegevens als wezenlijk betrouwbaarder dan het andere aan te zien.
4. Een nauwkeurige kennis van de verhoudingen der gemiddelde windsnelheden in de in geding zijnde stations resulteert uit dit onderzoek niet.
5. Voor een ruwe schatting van de verhoudingsgetallen kan, daar er géén overwicht van een der 4 methoden te verdedigen valt, genomen worden het rekenkundig gemiddelde van de uitkomsten der 4 methoden, waarbij de afronding der getallen (het aantal decimalen) in overeenstemming wordt gebracht met de te verwachten betrouwbaarheid.

Op grond van overweging 5 hebben wij voor de verdere berekening aangehouden de volgende verhoudingsgetallen (met de gemiddelde windsnelheid te De Bilt als eenheid):

TABEL A IV. *Verhoudingsgetallen der gemiddelde windsterkte op 12 stations*

Station no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Winter-halfjaar	1,7	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,0	0,7 ⁵	1,3	1,1	0,9	0,8
Zomer-halfjaar	1,8	1,4	1,3	1,2	1,1 ⁵	1,5	1,0	0,8	1,4	1,1 ⁵	0,8 ⁵	0,8

Volgens deze tabel bedragen de verschillen tussen „zomer“- en „wintergetal“ hoogstens 0,1 met uitzondering van station 6 (zomer 1,5; winter 1,3). Voor dit station hebben wij de overgang meer geleidelijk gemaakt door het aannemen van de volgende verhoudingsgetallen:

- 1,3 voor de maanden dec, jan, feb, mrt
- 1,4 voor de maanden apr, mei, okt, nov
- 1,5 voor de maanden jun, jul, aug, sep

De in de Penman-formule te substitueren windsnelheden voor de afzonderlijke maanden werden nu voor ieder station als volgt bepaald:

- a. Voor De Bilt wordt de op de waarnemingstoren gemeten windsnelheid gereduceerd op het standaardniveau van + 6 m volgens de methode aangegeven door BRAAK [11, pag. 29].
- b. Voor de overige stations wordt uit het maandgemiddelde van deze standaard-windsnelheid een maandgemiddelde bepaald door vermenigvuldiging met de voor het betreffende station geldende zomer- resp. winterfactor volgens tabel A IV.
- c. Alle windsnelheden worden van + 6 m op + 2 m gereduceerd volgens de formule

$$\frac{v_2}{v_6} = \frac{\ln \frac{200 + z_o}{z_o}}{\ln \frac{600 + z_o}{z_o}}$$

waarbij voor z_o (de z.g. ruwheidsparameter, welke een maat is voor de ruwheid van het oppervlak) uniform voor alle stations de waarde 2 (cm) is aangenomen. Hierbij is dus een logaritmisch windprofiel in de onderste 6 meter aangenomen.

3. DE UITKOMSTEN VAN DE BEREKENING

3.1 De regionale verschillen en de verschillen tussen de jaren

De tabellen B 1 bevatten van elk der 12 stations voor de 20 beschouwde jaren de 20×12 afzonderlijke maandsommen der verdamping volgens PENMAN uitgedrukt in mm. Bovendien van elk station de jaarsommen der afzonderlijke

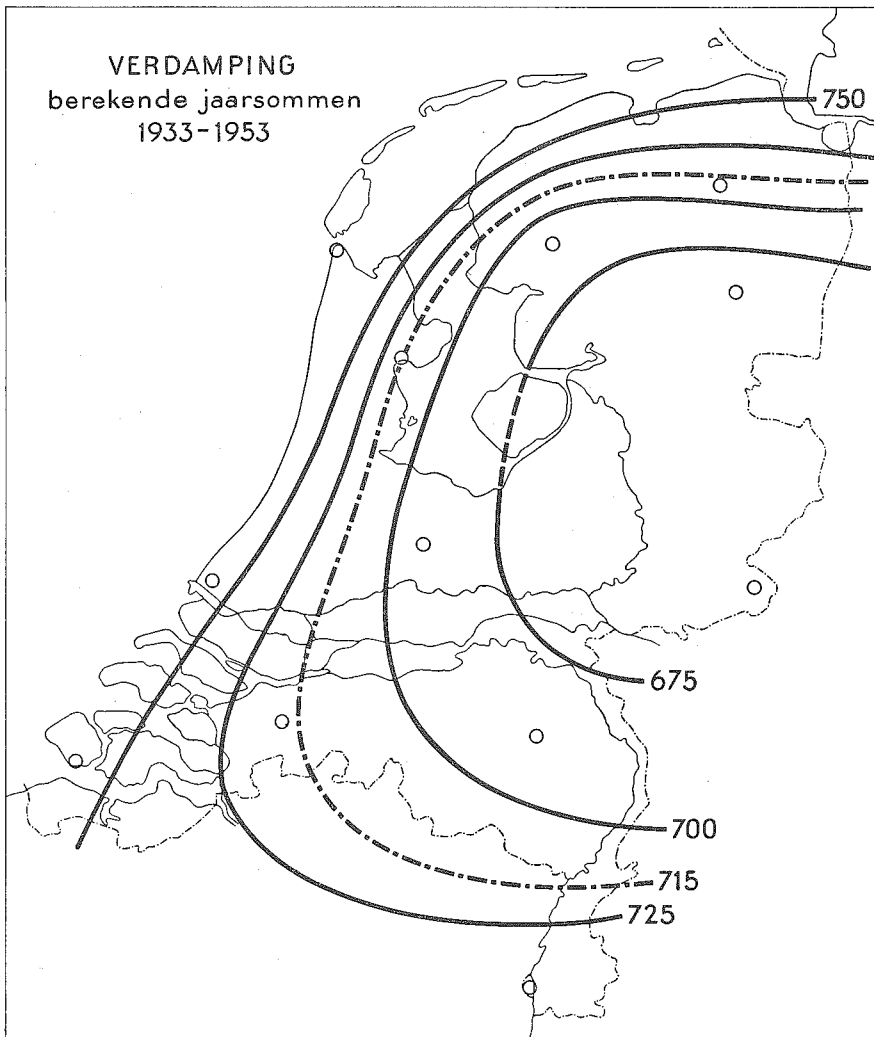


FIG. 7. Lijnen van gelijke verdamping volgens de berekende jaarsommen voor 12 stations

jaren, de maandgemiddelden voor iedere maand, berekend over 20 jaren en de gemiddelde verdamping per jaar, berekend als gemiddelde der 20 jaarsommen en (behoudens afrondingsverschillen) overeenkomend met de som der 12 maandgemiddelden.

De tabellen B 1 bevatten dus a.h.w. het grondmateriaal, met behulp waarvan verschillende andere overzichten kunnen worden samengesteld.

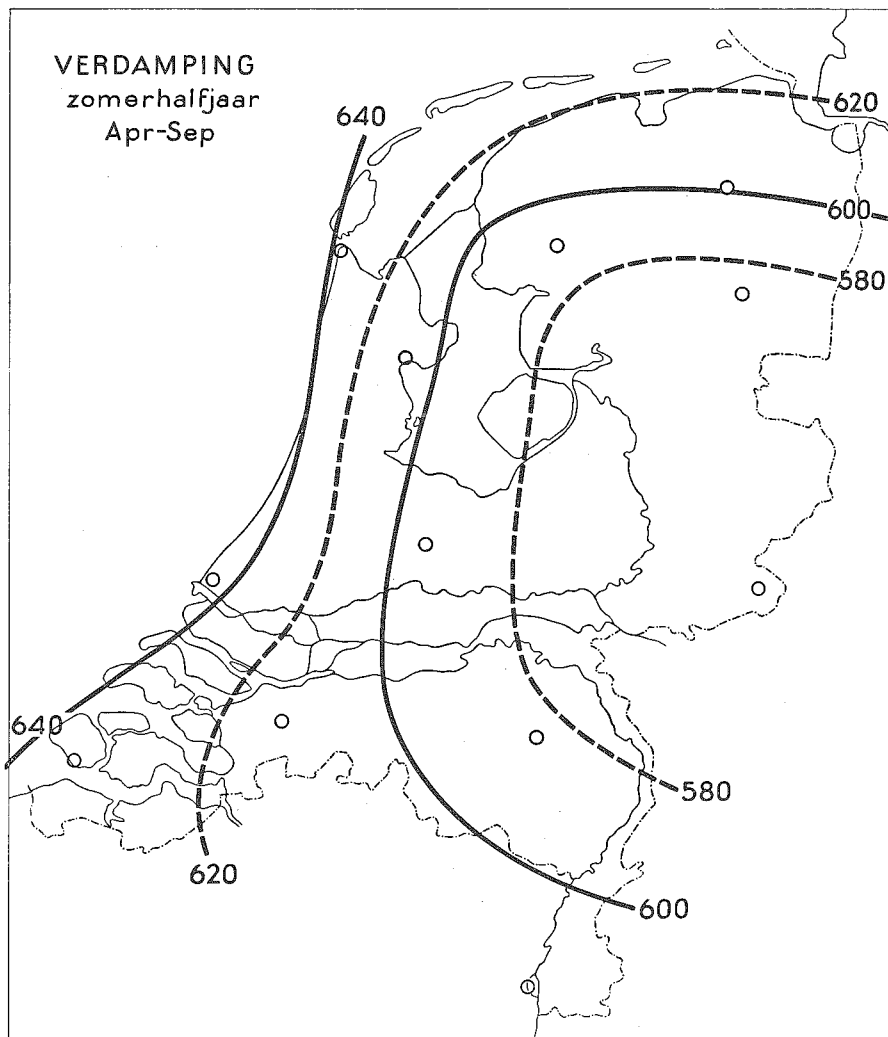


FIG. 8. Lijnen van gelijke verdamping in het zomerhalfjaar (april t/m september).

Zo bevat tabel B 2 van elk der 12 stations de 20 jaarsommen, waaruit is afgeleid:

- 1°. het „landgemiddelde” (gemiddelde der jaarsommen van alle 12 stations) voor ieder jaar afzonderlijk;
- 2°. nog eens (zie ook tabel B 1) het „stationsgemiddelde” voor elk station afzonderlijk over 20 jaar gemiddeld;
- 3°. de „landelijke gemiddelde jaarsom der verdamping”, zijnde het gemiddelde van de 20 getallen sub 1°. en tevens van de 12 getallen sub 2°, ten bedrage van 715,0 mm.

In het kaartje fig. 7 is de ligging der 12 stations aangegeven. Verder is geprobeerd een stel lijnen van gelijke gemiddelde jaarlijkse verdamping te schetsen, met onderlinge verschillen van 25 mm; bovendien nog de isolijn van 715 mm (landgemiddelde). Men ziet de redelijk goede overeenstemming met het kwalitatieve schetsje van het verwachte beloop der isolijnen in fig. 1.

Een soortgelijk kaartje is bovendien nog gemaakt voor de gemiddelde zomertotalen (fig. 8), waarbij onder „zomer” is verstaan de zes maandse periode april t.e.m. september.

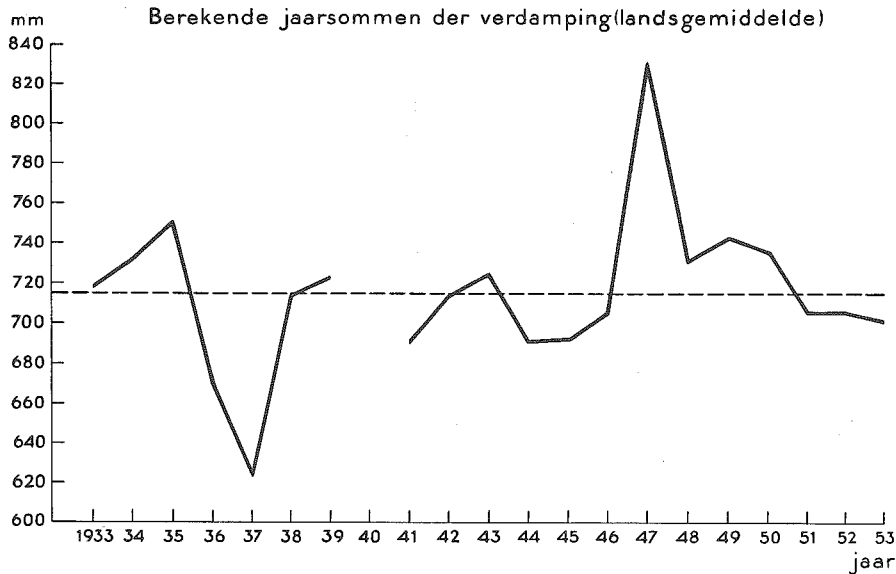


FIG. 9. Berekende jaarsommen der verdamping volgens het landgemiddelde

De grafiek fig. 9 brengt het landgemiddelde der jaarsommen voor de beschouwde reeks jaren in beeld; men ziet het aanzienlijke verschil tussen het laagste jaartotaal uit de reeks (624 mm - 1937) en het hoogste (829 mm - 1947).

De standaardafwijking in de reeks van 20 jaarsommen bedraagt 5,4% van de gemiddelde jaarsom.

3.2 De jaarlijkse gang

Tabel B 3 (blz. 83) bevat de maandgemiddelden voor de 12 stations, berekend over het tijdvak van 20 jaar, met de daaruit afgeleide gemiddelde maandsommen voor het land.

In grafiek fig. 10 zijn deze laatste getallen gebruikt voor het tekenen van de kromme van de gemiddelde jaarlijkse gang. Deze kromme schijnt bij benadering symmetrisch t.o.v. de verticaal door de datum 25 juni en zou dus enige vertraging t.o.v. de theoretische stralingscurve (symmetrisch om de datum 21 juni) vertonen. Deze vertraging is echter statistisch niet-significant.

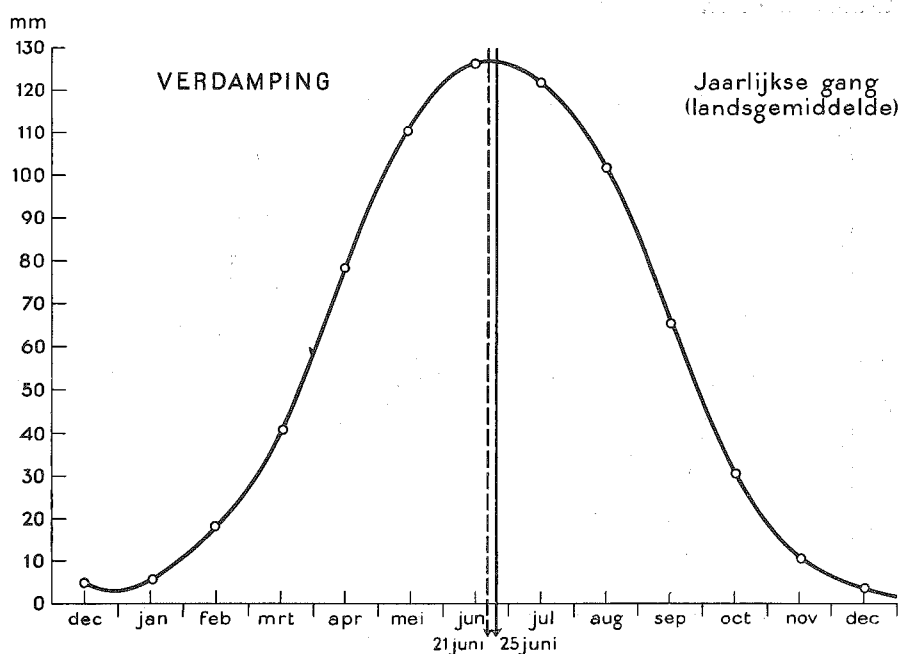


Fig. 10. Normale jaarlijkse gang der verdamping (landelijk gemiddelde)

Het onderscheid in de jaarlijkse gang tussen de kuststations en de meer landinwaarts gelegen stations is in beeld gebracht in grafiek fig. 11.

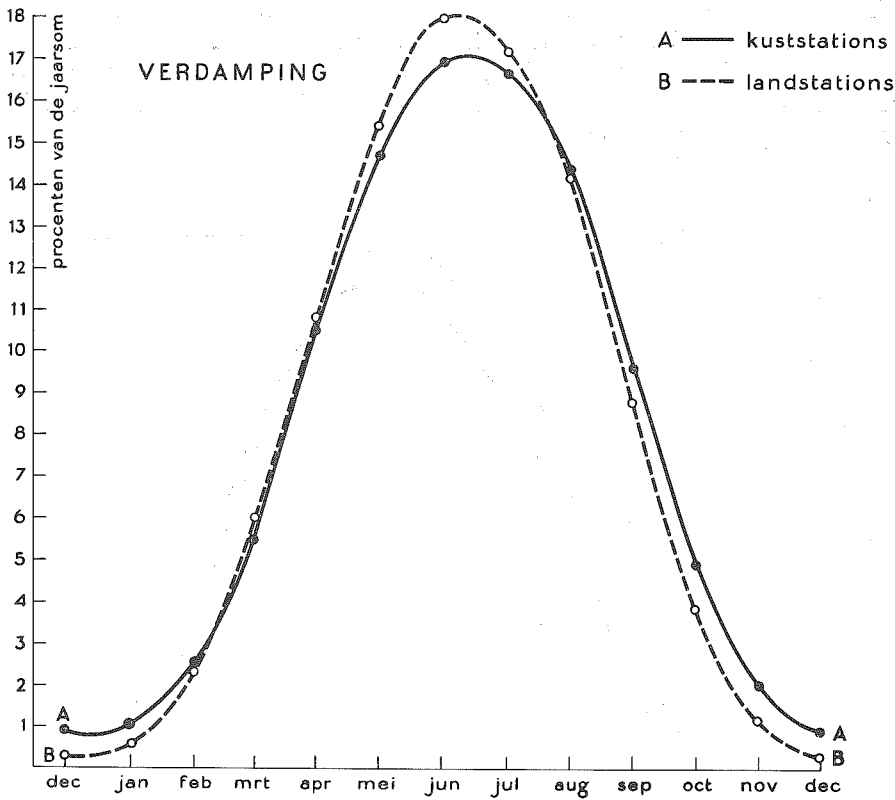


FIG. 11. Normale jaarlijkse gang der verdamping voor kuststations (A) en voor landstations (B)

Hierin stelt curve A de gemiddelde jaarlijkse gang in de kuststations voor. Deze curve is verkregen door de gelijknamige maandcijfers der stations 1, 6 en 9 (Den Helder, Naaldwijk en Vlissingen) uit tabel B 3 te middelen. Curve B is op dezelfde wijze verkregen uit de maandcijfers der stations 5, 8 en 11 (Witteveen, Winterswijk en Gemert), drie „land”-stations dus, gelegen op ongeveer dezelfde breedten als de eerder genoemde kuststations. Teneinde de jaarlijkse gang in de twee groepen van stations te kunnen vergelijken onafhankelijk van de absolute hoogte der verdamping, zijn de maandsommen uitgedrukt in procenten van de jaartotalen.

Het is interessant om deze jaarcurven der verdamping te vergelijken met op overeenkomstige wijze samengestelde jaarcurven der ware daggemiddelden van de temperatuur. De gegevens voor het samenstellen van laatstgenoemde

krommen zijn ontleend aan BRAAK [13, tab. 5 p. 13]. Getekend zijn de gemiddelde curven enerzijds van 3 kuststations: Den Helder, Katwijk a/d Rijn en Vlissingen, anderzijds van 3 landstations: Groningen, Winterswijk en Gemert (fig. 12). Het verschil in gedaante der 2 stellen krommen, o.m. het grote verschil in ligging van de maxima en minima, geeft wel duidelijk aan, dat men zeer aanzienlijke fouten zou maken, indien men de verdamping als eenvoudige functie van de temperatuur alléén zou beschouwen.

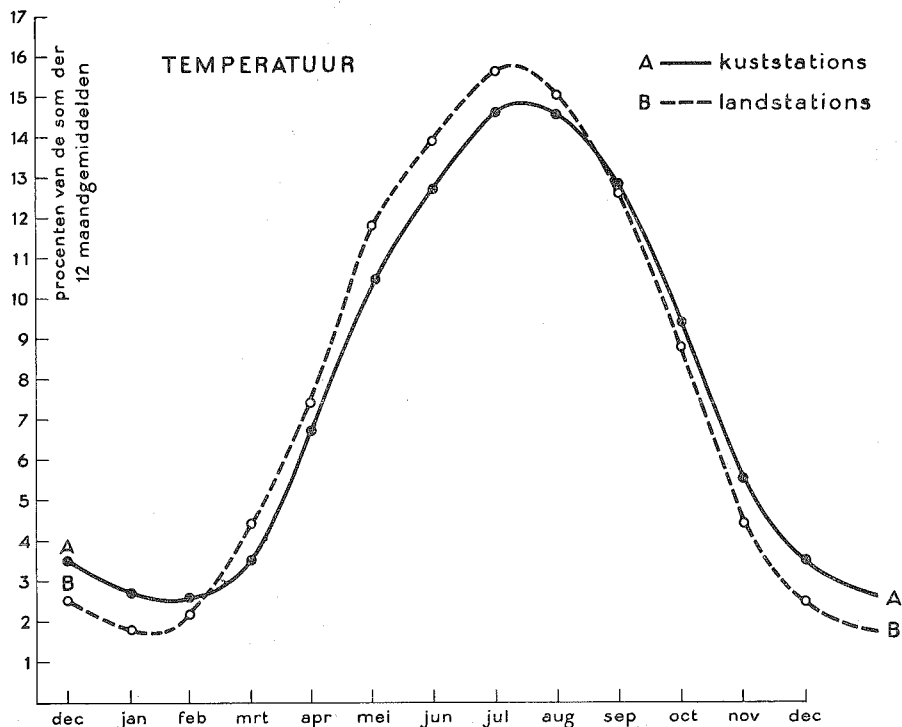


FIG. 12. Normale jaarlijkse gang van de temperatuur voor kuststations (A) en voor landstations (B)

Het komt ons voor, dat wij ons hier in hoofdzaak dienen te beperken tot het weergeven van de berekende maandelijks verdampingsgetallen en het beschrijven van de wijze, waarop ze zijn verkregen. Het hanteren van dit materiaal moet verder aan de gebruiker worden overgelaten.

4. VERGELIJKING VAN DE UITKOMSTEN MET ENKELE ANDERE VERDAMPINGSGEGEVENS

4.1 Vergelijking met de meetuitkomsten van een drijvende verdampingsbak

De formule van PENMAN bedoelt te leveren de verdamping van een uitgestrekt open watervlak onder natuurlijke omstandigheden, d.w.z. onderhevig aan wind en straling. De ideale toetsing van de formule bestaat dus in het vergelijken van de berekende uitkomsten met de gemeten verdamping van een dergelijke wateroppervlakte. Een methode voor het experimenteel bepalen van de grootte van de verdamping van een dergelijke wateroppervlakte, bijv. van een meer, bestaat in het uitvoeren van metingen van de niveau-daling van het water in een bak, die drijft in het meer.

Wanneer er voor gezorgd wordt, dat de drijvende bak voldoende ver van de oever ligt, dat de hoogten van de waterspiegels binnen en buiten de bak zoveel mogelijk gelijk zijn, dat in- en uitspatten van water vermeden wordt, doch, dat niettemin de rand van de bak zo min mogelijk storing in het windprofiel veroorzaakt en dat de warmte-uitwisseling van de bak met het omringende water voldoende snel is, is de verdamping in de bak een goede maat voor de verdamping van het open wateroppervlak.

Door de Dienst der Zuiderzeewerken werden vanaf augustus 1943 directe bepalingen van de verdamping van het IJsselmeer nabij Urk uitgevoerd met behulp van 2 drijvende verdampingsbakken. Beschrijvingen van de toegepaste meetmethode en van het instrumentarium, alsmede overzichten van de meetresultaten zijn te vinden in de verslagen (nos. 1 t.e.m. 7) van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek [17]. Daar de metingen in de winter dikwijls door storm en ijsgang gestoord worden, is in het hier volgende alleen gebruik gemaakt van de waarnemingen in de zomerperiode: april t.e.m. oktober. Van een reeks van 11 jaren (1943 t.e.m. 1953) hebben wij de maandtotalen der gemeten verdamping (voor zover ze in de bovengenoemde verslagen zijn opgenomen) vergeleken met de door ons volgens de methode van PENMAN berekende verdamping in de overeenkomstige maanden. In tabel B 4 (blz. 84) zijn voor de maanden april t.e.m. oktober van de genoemde 11 jaren in de met de letter B aangeduide kolommen de maandtotalen der bij Urk gemeten verdamping opgenomen. Steeds is het rekenkundig gemiddelde van de uitkomsten der beide bakken opgegeven. Daarnaast is onder letter P vermeld de volgens PENMAN berekende verdamping. Laatstgenoemde getallen stellen voor de gemiddelde uitkomsten van het drietal stations dat zo goed mogelijk rondom Urk is gelegen, te weten Hoorn (2), Joure (3) en De Bilt (7).

Uit geografisch oogpunt zou men een betere verdeling der stations rondom Urk hebben verkregen door nog een vierde station, n.l. Witteveen (5) in de vergelijking te betrekken (zie kaartje fig. 13). Dit is evenwel nagelaten op grond

van de overweging dat het gemiddelde der 4 stations dan waarschijnlijk een te „continentaal” karakter zou hebben verkregen voor vergelijking met het „maritiem” gelegen Urk. Anderzijds was het niet gewenst alléén het station Hoorn, of alléén Hoorn en Joure te nemen, daar „toevallige” afwijkingen van één station dan al te zwaar zouden wegen bij de vergelijking.

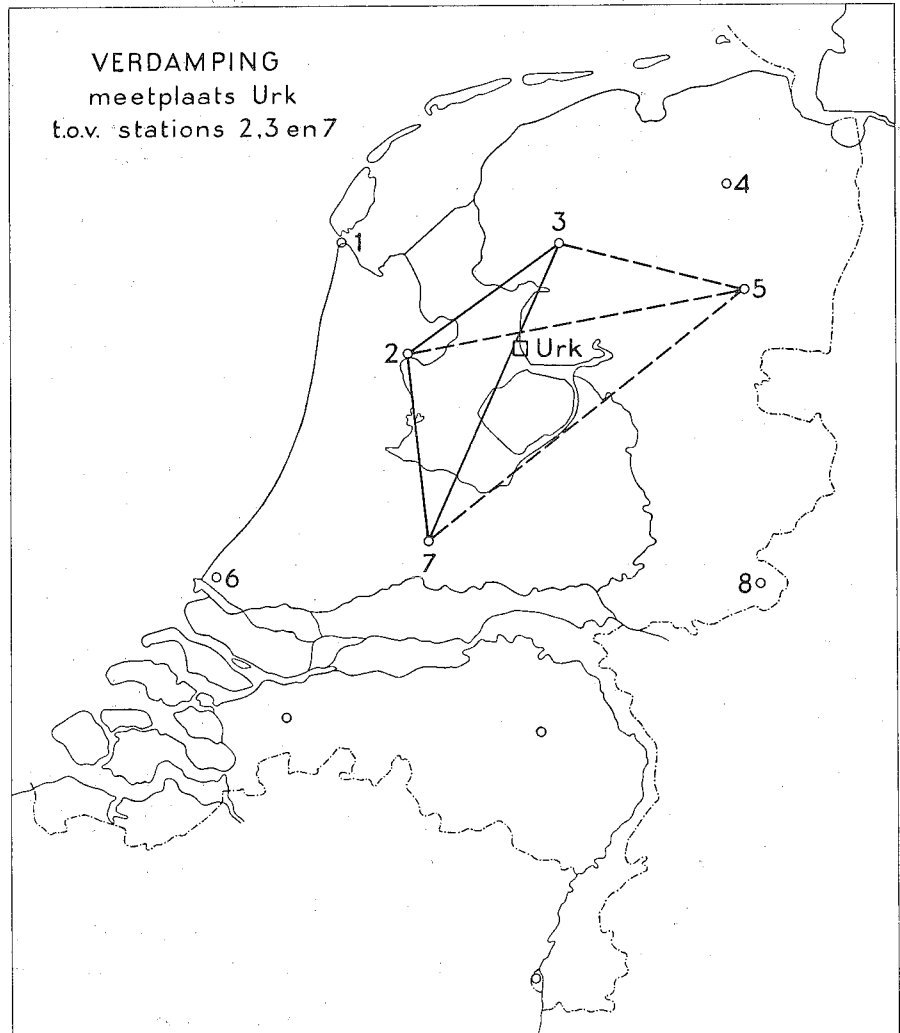


FIG. 13. Ligging van Urk (verdampingsmetingen in drijvende bakken) ten opzichte van Hoorn (2), Joure (3) en De Bilt (7)

De verschillen tussen de stations onderling zijn overigens in de regel gering vergeleken met de verschillen tussen P en B.

In de tabel zijn voorts (onder het hoofd P - B) nog weergegeven de verschillen van de volgens de beide methoden verkregen maandtotalen, en tenslotte nog deze verschillen, uitgedrukt in procenten van de gemeten maandsom. Alle getallen zijn afgerond op hele mm, resp. op gehele procenten.

Op het eerste gezicht is de overeenkomst tussen P en B voor de maanden afzonderlijk niet bepaald bevredigend. In totaal zijn de maandsommen van 64 maanden vergeleken. De frequentieverdeling van de absolute waarden der procentuele verschillen is als volgt:

Frequentieverdeling van de verschillen P-B in % van B:

Klasse	Frequentie
0 — 5 %	26
6 — 10 %	15
11 — 20 %	10
21 — 30 %	8
30 %	5
	64

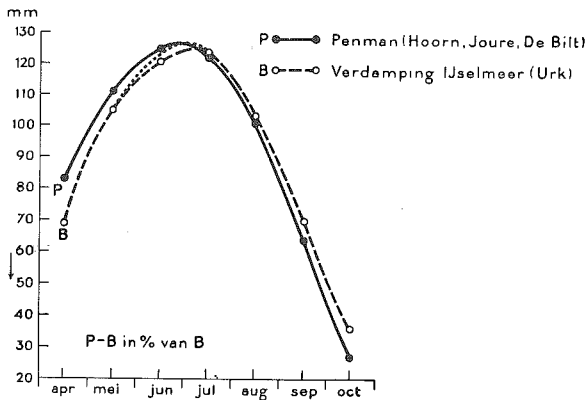


FIG. 14a. P — Penmancijfers gemiddeld over de drie stations Hoorn, Joure en De Bilt
B — — Verdampingscijfers gemeten in het IJsselmeer nabij Urk

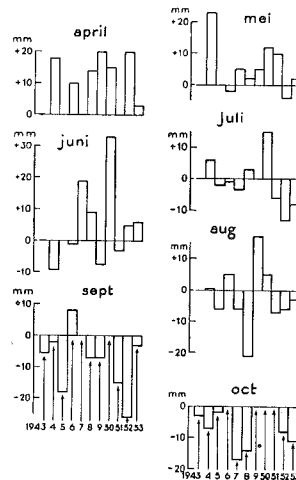


FIG. 14b. De verschillen P-B in mm in de achtereenvolgende jaren 1943 tot en met 1953 voor verschillende maanden

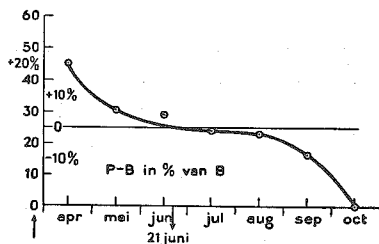


FIG. 14c. De verschillen P-B uitgezet in procenten van B

Het grootste waargenomen procentuele verschil bedraagt — 35 % (okt. 1947: $P = 32$ mm, $B = 49$ mm).

Beschouwt men echter de over (maximaal) 11 jaar gemiddelde gelijknamige maandsommen P en B , die bijeengebracht zijn in het laatste vak van tabel B 4, dan valt het op, dat grootte en voorteken van de verschillen $P - B$ blijkbaar een „seizoen-effect” vertonen: het verschil $P - B$ neemt van de grootste positieve waarde in april (gem. + 20 %) geleidelijk af, tot de grootste negatieve waarde in oktober (gem. — 25 %) bereikt wordt.

Daarbij blijken t.a.v. de totale som over de hele zomerperiode, gemiddeld over deze 11 jaren, de beide methoden merkwaardig goed overeen te komen: $\Sigma P = 633$ mm, $\Sigma B = 626$ mm, het verschil bedraagt slechts 1 %.

De verklaring ligt hier voor de hand: de jaarlijkse gang van de temperatuur van het zeewater (en ook van het IJsselmeerwater) en dus evenzo die van de lucht boven deze grote wateroppervlakken, blijft achter bij die van de luchttemperatuur op de landstations.

Gemiddeld over de hele zomer van mei tot en met september en over alle 11 jaren mag men dus het resultaat van de Penman-berekening over een reeks van jaren als een betrouwbare gemiddelde waarde voor de maandelijksse verdamping van open water aanzien (er van uitgaande, dat de uitgevoerde metingen met open bakken betrouwbaar zijn).

4.2 Vergelijking met meetuitkomsten van Piche-evaporimeters

In 1.2 werd reeds melding gemaakt van een onderzoek naar de regionale verdeling van de verdamping met behulp van Piche-evaporimeters. Het op die plaats vermelde Rapport [2] bevat een kaartje (l.c. pag. 14), waarop, op grond van de uitkomsten van metingen met een 60-tal over het land verdeelde op + 30 cm hoogte opgestelde Piche-evaporimeters, gebieden met relatief zwakke resp. relatief sterke verdamping zijn aangegeven. Dit kaartje heeft betrekking op het tijdvak maart–november 1953.

Vergelijking van dit kaartje met het hier bij 3.1 op pag. 41 opgenomen kaartje der lijnen van gelijke gemiddelde verdamping (fig. 7) toont, naast één punt

van overeenkomst, n.l. de relatief hoge verdamping in het gebied langs de Noordzeekust, zeer grote verschillen. Met name is noch van het op het Piche-kaartje voorkomende gebied van relatief lage verdamping in Friesland en Groningen, noch van het gebied van relatief hoge verdamping in het Zuidoosten des lands op het kaartje der gemiddelde verdamping volgens PENMAN een spoor

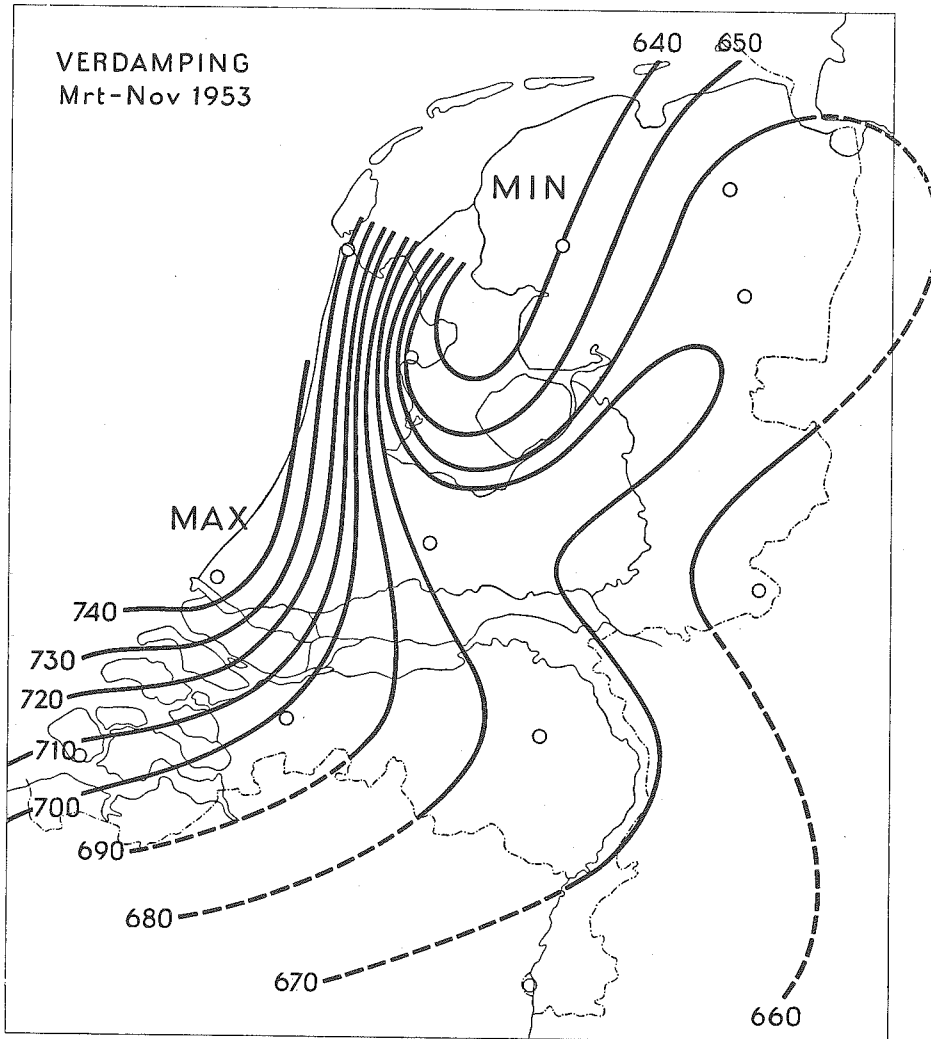


FIG. 15. Lijnen van gelijke verdamping gemiddeld over het tijdvak van maart tot en met november 1953

terug te vinden. De vraag rijst dus, of de door de Piche-cijfers van 1953 gesuggereerde verdeling volkomen fictief is. Om dit op te helderen hebben wij, uitgaande van het vermoeden dat de verdeling in 1953 misschien aanzienlijk van de „normale” verschilde, een afzonderlijk kaartje getekend, berustende op de verdampingssommen der 12 Penman-stations over de zelfde periode als waarop het Piche-kaartje betrekking heeft, n.l. maart–november 1953 (fig. 15).

Inderdaad is het laatstgenoemde kaartje beter in overeenstemming met het kaartje der „Penman-normalen” dan met de Piche-kaart van 1953. Men vindt thans op beide kaartjes een minimum-gebied over Friesland en een deel van Groningen en een maximum-gebied langs de Noordzeekust, dat zijn grootste breedte heeft ter hoogte van Zuid-Holland. De uitstulpingen van de isolijn van 670 mm over de Veluwe–Overijssel en over oostelijk Noord-Brabant kunnen kwalitatief in verband worden gebracht met de daar ter plaatse aangegeven gebieden van relatief sterke verdamping.

Het uit de Piche-gegevens afgeleide gebiedje van lage verdamping bij de benedenloop der grote rivieren kan wegens het ontbreken van Penman-stations ter plaatse in de Penman-kaart principieel niet teruggevonden worden. Enige kwalitatieve overeenstemming tussen beide kaartjes is dus zeker aanwezig. Kwantitatief zijn de regionale verschillen volgens de methode van PENMAN veel geringer dan volgens de Piche-metingen. Ter vergelijking de volgende getallen:

Penman mrt – nov 1953	hoogste <i>Naaldwijk</i>	747 mm
12 stations	laagste <i>Joure</i>	640 mm
	verschil	107 mm
		= 16 % van het landsgemiddelde (682)
Piche (zelfde periode)	Naaldwijk	1438 cc
	Joure	1071 cc
	verschil	367 cc
		= ca 32 % van het landsgemiddelde (1141 cc)

Uit bovenstaande volgt, dat men voor de omrekeningsfactor f ,

$$f = \frac{\text{verdamping in mm (Penman)}}{\text{verdamping in cc (Piche)}}$$

voor de diverse stations verschillende waarden moet vinden.

Bovendien bestaat er een zeer groot verschil ten aanzien van de jaarlijkse gang, welke men vindt respectievelijk uit de „Penman”-maandsommen en uit de „Piche”-maandsommen.

Tabel B 5, berekend met behulp van tabel B 1 en WR 54-002, tab. I tegenover pag. 10, geeft deze omrekeningsfactoren f voor enkele stations, die bij de beide onderzoeken betrokken waren.

TABEL B 5. *Verhouding (f) tussen verdamping volgens PENMAN (in mm) en met Piche-*evaporimeter gemeten verdamping (in cc)**

1953	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	mrt-nov
Joure	0,39	0,52	0,59	0,83	0,70	0,57	0,62	0,47	0,25	0,60
Witteveen	,40	,54	,54	,77	,68	,64	,56	,49	,28	0,59
Naaldwijk	,39	,46	,50	,66	,53	,58	,54	,40	,29	0,52
De Bilt	,36	,49	,52	,62	,48	,53	,47	,41	,23	0,49
Gemert	,36	,42	,39	,64	,46	,48	,41	,37	,24	0,44
Gem.	0,38	0,49	0,51	0,70	0,57	0,56	0,52	0,43	0,26	0,52 = \bar{f}

De grote verschillen, die f vertoont in de verschillende maanden, zijn voor een deel toe te schrijven aan meteorologische factoren; NEUMANN (schriftelijke mededeling) en ROSENAN¹⁾ wijzen op de afhankelijkheid van f van de relatieve vochtigheid.

Bij afnemende relatieve vochtigheid zal de Piche-verdamping sterker toenemen dan de verdamping van een open watervlak; f zal dus op grond hiervan voor de droogste maanden de kleinste waarde moeten hebben. Deze factor is echter in ons klimaat, waarin de relatieve vochtigheid steeds vrij hoog is en gemiddeld van maand tot maand slechts betrekkelijk geringe veranderingen ondergaat, niet van groot belang. Wel is het echter aannemelijk, dat de Piche-*evaporimeters*, wanneer ze, zoals de hier besprokene, onafgeschermd worden opgesteld, sterker dan open watervlakken zullen reageren op variaties in de wind en in de straling en dit naar verhouding des te meer, naarmate de temperatuur lager is. De extreem hoge waarde van f in de maand juni 1953 zou zich op deze manier laten verklaren uit de geringe gemiddelde windsterkte en het relatief lage gemiddelde zonnenschijnpercentage van deze maand. Laatstgenoemde klimatologische bijzonderheden mogen blijken uit onderstaand tabelletje, waarin zijn opgenomen de gem. windsnelheid u , het gem. zonnenschijnpercentage s en de gem. overdag-temperatuur t in de besproken maanden, gemiddeld over de 5 in tabel B 5 vermelde stations:

	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov
u	3,4	4,3	3,9	3,3	4,2	3,7	4,2	2,6	4,0
s	31	42	41	36	39	46	44	23	12
t	5,6	9,7	14,4	17,2	18,2	18,1	15,1	12,1	7,8

De experimentele formule

$$f' = 1,16 + 0,0135 t - \frac{10 u + s}{100}$$

geeft voor de zomermaanden redelijke benaderingswaarden f' voor de gevonden f -waarden, hetgeen blijkt uit Tabel B 6.

¹⁾ The measurement of evaporative power in Israel, Met. Notes, Jeruzalem, Israel.

TABEL B 6. *Vergelijking van gevonden en berekende waarden (f resp. f') van de verhouding tussen verdamping volgens PENMAN (in mm) en volgens PICHE (in cc)*

	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov
f	0,38	0,49	0,51	0,70	0,57	0,56	0,52	0,43	0,26
f'	0,59	0,44	0,55	0,70	0,60	0,57	0,50	0,83	0,75
$f-f'$		0,05	-0,04	0	-0,03	-0,01	0,02		

gemiddelde absolute waarde van het verschil = 0,025 of ca 5 % van f .

Zoals men ziet kloppen de berekende f' -waarden voor de maanden maart, oktober en november volstrekt niet met de gevonden f -waarden. Er is vermoedelijk behalve de directe meteorologische invloeden ook nog een andere factor in het spel, namelijk de openheid van het terrein, die bij deze laaggeplaatste Piche-evaporimeters van veel belang is. Door het afwezig zijn van bladeren aan planten en struiken is deze openheid in het voor- en najaar veel groter dan des zomers, zodat in de zomer de Piche-verdamping relatief laag en f' dus relatief groot zal zijn.

5. SLOTOPMERKINGEN

5.1 Enkele details van de afleiding van de formule van Penman

Deze paragraaf bevat een aantal losse opmerkingen naar aanleiding van diverse omstreden punten in de afleiding van de verdampingsformule. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens uit de nieuwere literatuur over verdampingsonderzoek.

5.2 Verwaarlozen van de fractie S in de vergelijking van het energie-budget (zie 1.3 vgl. (2))

Deze verwaarlozing begrenst de duur van de periode, waarover de formule betrouwbare uitkomsten kan geven, naar beneden. De verhouding S/H hangt sterk af van de lokale situatie, met name van de bodemgesteldheid en het lokale klimaat. Een algemene regel voor de minimum-duur van de toelaatbare berekeningsperiode is op deze basis dus niet te geven. Gegevens over de verandering van de in een watermassa opgeslagen hoeveelheid energie geeft o.a. het Lake-Hefner Report [18; pag. 100 e.v.]. De veranderingen over perioden van een heel jaar bleken inderdaad verwaarloosbaar.

Het is echter gebleken, dat de veranderingen van maand tot maand van zeer uiteenlopende grootte waren, ze zijn uiteraard het grootst in die maanden, die het grootste temperatuurverschil tussen begin en eind van de maand vertonen. Op grond van de gedaante van de kromme van de jaarlijkse temperatuurgang was te verwachten, dat voor Lake-Hefner de geringste maandelijkse variaties in energie-inhoud zouden optreden in januari en in augustus. Niettemin werd voor één der beide in de meetperiode vallende augustusmaanden een verandering van energie-inhoud gemeten overeenkomende met ca $58 \text{ cal. cm}^{-2}\text{dag}^{-1}$ of wel ongeveer 1 mm verdamping per dag, hetgeen, bij een gemiddelde verdamping van ca 200 mm aldaar gedurende augustus, bij verwaarlozing een fout van de orde van 15% zou kunnen opleveren over perioden van een maand.

Volgens het geciteerde rapport is, bij de berekening van verdamping van wateroppervlakken volgens methoden berustende op de bepaling van het energiebudget, het verwaarlozen of wel de onvoldoende kennis van de veranderingen in de energie-inhoud van de watermassa dan ook de voornaamste oorzaak van de onbetrouwbaarheid.

Voor perioden kleiner dan een week is op bovengenoemde gronden deze methode dan ook zeker niet bruikbaar, voor langere perioden – doch korter dan een vol jaar –, bedraagt de maximale te bereiken nauwkeurigheid ongeveer 5% van de gemiddelde verdamping.

Wij moeten hierbij wel opmerken, dat het bovenstaande dus geldt voor berekening van de verdamping uit watermassa's, bijv. zeeën of meren, van een betrekkelijk grote diepte. Bij ondiep water of – als limietgeval – bij min of meer

natte grond worden de temperatuurf fluctuaties uiteraard groter en in de tijd minder regelmatig, echter is *dan* de warmtecapaciteit en – bijgaand – ook het warmtegeleidingsvermogen geringer. Vermoedelijk zal daardoor bij grond het effect van de verwaarlozing van de factor „warmte uitwisseling met de onderlaag” veel geringer zijn dan bij watermassa’s. Niettemin wordt de bruikbaarheid van de formule van PENMAN voor perioden korter dan bijv. een maand hierdoor toch wel dubieus.

5.3 De grootte van de factor $\frac{K}{E} = \beta$ (Bowen’s ratio; zie 1.3 vgl. (4))

Er bestaat twijfel aangaande de juistheid van de bewering dat voor de constanten A en A' in de transport-vergelijkingen

$$E_o = -A \frac{\partial e}{\partial z}, \text{ resp. } K = -A' \frac{\partial t}{\partial z}$$

van het verticale waterdamptransport resp. de verticale warmtestroom inderdaad geldt $A \equiv A'$. Indien dit inderdaad niet het geval is, kan men voor γ in formule (4) van 1.3 geen constante waarde aanvaarden. Uit sommige recente onderzoekingen zou (volgens mondelinge mededeling) blijken dat in bepaalde gevallen

$$\frac{A}{A'} = \varphi \left(\frac{\partial t}{\partial z}, u, \dots \right)$$

geldt en wel in het bijzonder voor korte perioden met instabiele opbouw van de atmosfeer. De opgegeven afwijkingen zijn echter gering e van de orde van enkele procenten. In het bovengeciteerde Lake-Hefner Report worden resultaten medegedeeld van de berekening van BOWEN’s verhoudingsgetal

$$\beta = c \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d} \cdot \frac{p}{1000}; \quad p = \text{luchtdruk in mb,} \\ c = \text{constante (zie (4))}$$

uit metingen van de temperatuur- en dampspanningsgradiënt. De berekening geschiedde zowel voor afzonderlijke dagen als voor méérdaagse perioden, tot een maximum van 30 dagen.

De spreiding in de berekende waarden van BOWEN’s ratio was te groot om enige afwijking van de veronderstelling $\gamma = \text{constant}$ te constateren. Voor praktische doeleinden kan men op dit punt dus veilig de theorie van PENMAN volgen.

5.4 Opmerkingen over constanten, voorkomende in de formule voor het netto-stralingsbudget

De formule voor het netto-stralingsbudget luidt bij PENMAN [4; pag. 123]:

$$H = R_c (1 - r - \mu) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) (1 - 0,09 m).$$

In deze formule is σ de constante uit de wet van STEFAN-BOLTZMANN; T_a is de luchttemperatuur in °C; e_d is de dampspanning van de vrije lucht of de verzadigingsspanning bij het dauwpunt in mm H_g ; H is de netto-stralings-energie per oppervlakte-eenheid; de overige grootheden zijn hieronder gedefinieerd.

5.4.1 μ is de fractie van de inkomende kortgolvlige straling die gebruikt wordt voor de fotosynthese; deze is van de orde van ten hoogste 1 % en wordt verwaarloosd.

5.4.2 r is de reflectiecoëfficiënt. PENMAN geeft voor water als gemiddelde waarde (voor Engeland) $r = 0,06$. In het Lake-Hefner rapport (l.c. p. 78 e.v.) worden de volgende uitkomsten van metingen en berekeningen van r voor water medegedeeld (Tabel C 1):

TABEL C 1

Onderzoeker(s)	Jaar v. publ.	Plaats van waarneming	Bijzonderheden	r
1. SCHMIDT	1915	—	theor. berekening uit energie-budget van oceanen. Geldend voor diffuse straling:	0,17
		Chesapeake Bay	vlak water	0,097
			ruw water (schuimkoppen)	0,049
2. KIMBALL & HAND	1930	Potomac River Patuxent River	bij betrokken hemel (metingen uit vliegtuig op hoogten van 10 tot 1000 ft)	0,06 0,10
3. POWELL & CLARKE	1936	Buzzard's Bay	bij betrokken hemel gemiddeld bij helder weer, voor zonshoogte 30° (afhankelijkheid van zonshoogte, bewolkingsgraad en ruwheid van het water geconstateerd)	0,08 0,09
4. SVERDRUP	1942	—	theor.; synthese van 1. en 3. Afhankelijkheid van zonshoogte: bij zonshoogte 10°— 30°— 60°—	0,25 0,06 0,03
5. NEIBURGER	1948	Kust Californië	bij stratus-bewolking. Gem.— bij helder weer en hoge zonnestand bij volkomen diffuse straling	0,105 0,08 0,17
6. Onderzoek LAKE HEFNER	1952	Lake Hefner, Oklahoma	r bij heldere hemel afhankelijk van zonshoogte; exper. relatie $r = 1,18 A^{-0.77}$ Voor $A = 50^\circ$ — Voor $A = 40^\circ$ — Voor $A = 30^\circ$ — Voor $A = 20^\circ$ —	0,05 0,06 0,08 0,12

De nieuwere gegevens wijzen er op, dat de door PENMAN aangenomen gemiddelde $r = 0,06$ op onze breedtegraad (maximale zonshoogte 61°) voor de zomer gemiddeld wel aanvaardbaar is, doch voor de wintermaanden – met lage zonnstanden en veelal bewolkte hemel – vermoedelijk te laag. Hetgeen zou betekenen dat H , en dus ook E_o , des winters wat te hoog berekend wordt. Het betreft hier evenwel slechts een correctie van de orde van enige percenten.

5.4.3 De factor R_c , de inkomende kortgolvlige straling, wordt afgeleid uit door ANGOT opgegeven waarden van de totale invallende straling R_A aan de buitenrand van de atmosfeer, op verschillende breedtegraden en voor de verschillende maanden afzonderlijk (tabel bij BRUNT [19], p. 112). De voor Nederland geldende maandwaarden van R_A zijn uit de door BRUNT opgegeven getallen afgeleid door grafische interpolatie. Hierbij is het gehele land beschouwd als te liggen op 52°NB . Breedteverschillen binnen Nederland bleken op de waarden van R_A , rekening houdende met de nauwkeurigheidsgrenzen der opgegeven getallen, geen reële invloed te hebben.

Voor de afleiding van R_c uit R_A gebruikt PENMAN [4, pag. 124] de betrekking

$$R_c = R_A \left(a + b \frac{M}{N} \right),$$

waarin $\frac{M}{N}$ is het zonneshijnpercentage, a en b zijn konstanten; over de meest geschikte waarde hiervoor bestaat eveneens verschil van mening. De in Tabel C 2 genoemde waarden zijn o.m. voorgesteld:

TABEL C 2

		a	b	
1. KIMBALL	Virginia 1914	0,22	0,54	
2. BRUNT	Stockholm 1939	0,25	0,75	bij PENMAN
3. PRESCOTT	Canberra (Aus.) 1940	0,25	0,54	(4, p. 124 v.v.)
4. PENMAN	Rothamsted 1948	0,18	0,55	
5. PENMAN (mondel. meded.)	Z. Engeland 1953 (?)	0,20	0,48	
6. BARATA (20)	Lissabon 1955	0,19	0,66	

Daar de grootte van a en b samenhangt met de gemiddelde zonshoogte en dus met de breedtegraad, is het bij gebrek aan eigen metingen voor ons doel het beste, gebruik te maken van de voor Engeland geldende waarden. Het bij de berekening gebruikte nomogram [16] is dan ook gebaseerd op de laatste der door PENMAN medegedeelde gegevens:

$$a = 0,20, \quad b = 0,48$$

5.4.4 De uitwisseling van langgolvlige straling tussen de atmosfeer en het wateroppervlak

PENMAN zegt van deze term in de energiebalans, dat zij is „difficult to measure and not completely accounted for on theoretical grounds, so that one is dependent upon empirical correlations to assess the effects of water vapour and clouds on the exchange” [5; p. 375]. Bij deze staat van zaken behoeft het dan ook niet te verwonderen, dat men bij verschillende auteurs verschillende numerieke waarden van de diverse factoren in de term aantreft. De behoefte aan onaanvechtbare stralingsmetingen doet zich ook hier gevoelen.

5.4.4.1 PENMAN [l.c. p. 376] gaat er van uit dat, wanneer geen atmosfeer aanwezig was, de aarde zich, wat de langgolvlige straling betreft, zou gedragen als een volkomen zwart lichaam, m.a.w. de wet van STEFAN-BOLZMANN zou gelden:

$$R_u = \sigma T_a^4$$

waarbij T_a = temperatuur van het aardoppervlak. In werkelijkheid gedraagt een uitstralend wateroppervlak zich niet als volkomen zwart lichaam, zodat er een emissie-factor toegevoegd zou moeten worden, die echter slechts weinig van 1 afwijkt.

DORSEY [21] geeft voor deze factor de waarde $0,985 \pm 0,001$, onafhankelijk van de temperatuur. Een laag van 0,1 mm dikte geeft reeds dezelfde uitstraling als een dikkere laag (l.c. p. 339).

Uit de metingen, uitgevoerd in verband met het *Lake Hefner* project [18, p. 97] door het Physical Standard Laboratory, volgt een gemiddelde waarde van $0,970 \pm 0,005$. Verwaarlozen van deze factor veroorzaakt dus een fout van mogelijk ca 3% in de langgolvlige-stralings-term van H , of wel in de termen E_1 en E_3 die gebruikt worden bij de berekening van E_o met behulp van het nomogram (16). Voor E_o resulteert hieruit een fout van de grootte-orde van — 1% (in de zomer) tot ca — 10% (in de winter), in absolute grootte bedraagt de fout per maand ca — 2 tot — 0,5 mm. Tengevolge van de overschatting van de uitstraling wordt de verdamping te laag berekend.

5.4.4.2 *Belangrijker is echter de mogelijke onjuistheid in de bepaling van de invloed van het waterdampgehalte van de atmosfeer en vooral die van de bewolking op de uitwisseling van langgolvlige straling.*

De invloed van de waterdamp in de atmosfeer wordt in rekening gebracht door vermenigvuldiging van σT_a^4 met een factor $1 - (k + l \sqrt{e_d})$, waarin e_d = max. spanning van de waterdamp bij het dauwpunt en k en l constanten zijn. Op grond van een eveneens door BRUNT [19] gegeven relatie koos PENMAN in [4] en [5] voor k en l resp. de waarden 0,44 en 0,092 zodat de vermenigvuldigingsfactor wordt $(0,56 - 0,092 \sqrt{e_d})$, over de meeste geschikte waarden voor k en l is eveneens verschil van mening.

Het hier volgende staatje vermeldt een aantal waarden van k en l , afkomstig van verschillende onderzoekers, zoals ze door BRUNT [l.c. p. 137] zijn opgegeven en ook door BARATA [20; p. 43] zijn overgenomen:

TABEL C 3

Auteur	Plaats van Onderzoek	k	l
1. DINES	Benson	0,52	0,065
2. ASKLÖF	Upsala	0,43	0,082
3. ÅNGSTRÖM	Bassour (Algiers)	0,48	0,058
4. BOUTARIC	„Frankrijk”	0,60	0,042
5. ROBITSCH	Lindenberg	0,34	0,110
6. RAMANATHAN en DESAI	Poona	0,47	0,061
Gemiddeld		0,44	0,080

Het is niet helemaal duidelijk, hoe deze „gemiddelden” tot stand zijn gekomen. Wat k betreft, is 0,44 ongeveer het rekenkundig gemiddelde, indien men de wat „uit de toon vallende” waarde $k = 0,60$ van BOUTARIC niet meetelt (hoewel men op deze grond met evenveel recht de waarde van ROBITSCH zou kunnen laten vervallen); tot de opgegeven gemiddelde waarde van l ($l = 0,080$) komt men slechts, door de laagste twee waarden, dus zowel die van ÅNGSTRÖM als die van BOUTARIC, niet mede te rekenen. Het blijkt bij BRUNT echter niet, of en zo ja waarom er inderdaad op deze wijze te werk is gegaan.

Er wordt door BRUNT t.a.p. ook nog een langs theoretische weg afgeleide betrekking vermeld, waaruit zou volgen $k = 0,60$ $l = 0,042$, dus juist overeenkomend met de gegevens volgens BOUTARIC, hetgeen voor de juistheid van laatstgenoemde zou kunnen pleiten.

In ieder geval heeft PENMAN (in [4] en [5]) klaarblijkelijk de hierboven als „gemiddelden” opgegeven waarden $k = 0,44$, $l = 0,080$ in zijn formule overgenomen. Bedenkt men, dat de bovenvermelde waarden van l gebaseerd zijn op waarden van e_d uitgedrukt in mb , zodat zij wanneer men (met PENMAN) e_d in $mm H_g$ wenst uit te drukken met een factor $\sqrt{1,33}$ vermenigvuldigd dienen te worden, dan krijgt men resp. $k = 0,44$, $l = 0,092$, zodat

$$1 - (k + l \sqrt{e_d}) = (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}),$$

hetgeen juist de door PENMAN gebruikte factor weergeeft.

Het Lake Hefner Report [18; p. 93] vermeldt een gedeeltelijk van de bovenvermelde afwijkende reeks van waarden voor de constanten uit BRUNT's vergelijking, en wel de in Tabel C 4 gegevene.

Men ziet dat de nos. 5 en 6 uit tabel C 3 zijn vervallen en daarvoor in de plaats 5 nieuwe paren (k , l) zijn vermeld, waarvan drie afkomstig van in de V.S. verrichte metingen. De gemiddelden van k en l in deze tabel leiden tot de correctiefactor

$$(0,47 - 0,052 \sqrt{e_d})$$

TABEL C 4

Auteur	Plaats van Onderzoek	k	l
1. DINES	Engeland	0,53*	0,065
2. ASKLÖF	Zweden	0,43	0,082
3. ÅNGSTRÖM	Algiers	0,48	0,058
4. BOUTARIC	Frankrijk	0,60	0,042
7. ÅNGSTRÖM	Californië	0,50	0,032
8. KIMBALL	Washington D.C.	0,44	0,061
9. ECKEL	Oostenrijk	0,47	0,063
10. RAMAN	India	0,62	0,029
11. ANDERSON	Oklahoma	0,68	0,036
Gemiddeld		0,53	0,052

Op grond van een (in 1954 gedane) mondelinge mededeling van PENMAN gebruikten wij in het meergenoemde nomogram de factor

$$(0,47 - 0,077 \sqrt{e_d}),$$

die dus, wat de constante k betreft, met het gemiddelde van de „Lake-Hefner”-waarden overeenkomt, terwijl voor l een waarde is genomen die inligt tussen die van tabel C 3 en tabel C 4.

5.4.4.3 *De volgende (en laatste) correctiefactor tenslotte, die op de „langgolvige-stralings-term” wordt toegepast, is die voor de bewolking.*

Als voor de langgolvige uitstraling bij onbewolkte hemel (volgens bovenstaande) geldt

$$R_o = \sigma T^4 (k - l \sqrt{e_d}),$$

geldt bij de aanwezigheid van wolken

$$R_m = R_o (1 - \alpha m)$$

waarin m = de bedekkingsgraad, d.i. de breuk, die aangeeft welk gedeelte van de hemelkoepel met wolken is bedekt, terwijl α = een factor die afhankelijk is van de „dichtheid” van de bedekking, dus van het wolkentype. Volgens SVERDRUP geldt: voor Cirrus: $\alpha = 0,025$, voor Altocumulus: $\alpha = 0,06$, voor Cumulus: $\alpha = 0,09$. PENMAN [4, p. 125] neemt gemiddeld $\alpha = 0,09$ en drukt m in tiende delen uit en stelt dan bij benadering

$$m/10 = l - p,$$

waarin p is de verhouding van het werkelijke aantal zonneshijnuren tot het maximaal mogelijke aantal, ofwel = „zonneshijnpercentage” gedeeld door 100.

Dan wordt

$$\begin{aligned} R_m &= R_o (1 - 0,09 m) = \\ &= R_o \{ 1 - 0,09 (10 - 10 p) \} = R_o (0,1 + 0,9 p). \end{aligned}$$

Dit is uiteraard een zeer ruwe benadering, zowel wat betreft het aanvaarden van $\alpha = 0,09$ als gemiddelde waarde als wat betreft de veronderstelling $m/10 = 1 - p$; dit laatste impliceert, dat gemiddeld het percentage van de dagboog van de zon, dat door wolken is afgedekt, gelijk is aan het bedekkingspercentage van de hele hemelkoepel, hetgeen op goede gronden te betwijfelen is, ook gezien bepaalde eigenaardigheden van de bewolkings-schatting.

PENMAN heeft later in plaats van $\alpha = 0,09$ genomen $\alpha = 0,08$ en dus in plaats van de correctiefactor $(0,1 + 0,9 p)$ ingevoerd de factor $(0,2 + 0,8 p)$, welke „nieuwe” factor dus in vergelijking met de „oude” een wat geringere verlaging van de langgolvlige uitstraling geeft; het verschil is des te groter naarmate p kleiner is, d.w.z. naarmate de bewolkingsgraad meer nadert tot totaal betrokken hemel. De „nieuwe” factor: $(0,2 + 0,8 p)$ is bij onze berekeningen gebruikt.

5.5 Opmerkingen over de formule voor E_a (de verdamping uit een wateroppervlak, dat de temperatuur van de lucht bezit).

De hier gebruikte formule:

$$E_a = 0,35 [e_a \cdot (1 - h)] (0,5 + 0,54 u_2)$$

waarin

E_a = verdamping in mm/dag,

e_a = max. spanning van waterdamp bij luchttemperatuur t_a ,

h = relatieve vochtigheid (100 % = 1),

u_2 = windsnelheid in m/sec op 2 m hoogte,

is ontleend aan PENMAN [4, p. 132], die als modificatie van een vergelijking van ROHWER, die zich het best aansluit bij verdampingsmetingen uit een ingegraven tank met een diameter van 76 cm en een diepte van 61 cm, geeft

$$E_o = 0,35 [e_s - e_d] (1 + 0,54 u_2),$$

u_2 in m/sec. Een latere correctie gaf aanleiding, in de laatste factor de constante term te veranderen van 1 in 0,5.

De constanten in deze formule zijn dus zuiver experimenteel bepaald.

Aanmerkingen op deze formule kunnen betrekking hebben op:

- 1°. de *constante* 0,35. Deze zou met een factor vermenigvuldigd moeten worden, daar bijv. blijkbaar geen rekening is gehouden met de afwijking van de verdamping uit een (betrekkelijk kleine) verdampingsbak ten opzichte van de verdamping uit een open watervlak van grotere afmetingen [18, tabel 24 p. 128].
- 2°. de *windfunctie*, d.i. het verband tussen de verdampingssnelheid en de windsnelheid op 2 m hoogte. Bij de berekeningen is van een logaritmisch windprofiel uitgegaan; dit is ook volgens later onderzoek [18] een redelijk betrouwbaar uitgangspunt.

Gezien de wijze, waarop onze windgegevens zijn verkregen, moet toch reeds met een oncontroleerbare en vermoedelijk vrij grote onzekerheid in de gebruikte waarden van u_2 rekening gehouden worden. Het heeft dus weinig zin te trachten, theoretische speculaties over de grootte van te verwachten onzekerheden in de bovenvermelde formule op te zetten.

6. SAMENVATTING

Door allerlei oorzaken dreigt Nederland, wat betreft de watervoorziening, van een „overvloed-economie” over te gaan in een „schaarste-economie”. Daarom werd het nuttig geoordeeld om de verdamping over Nederland onder verschillende klimatologische voorwaarden te berekenen. Verschillende instanties houden zich reeds bezig met de studie van verdamping. Thans wordt aangeboden een berekening van de verdamping over ons land met behulp van de formule van PENMAN.

Voor een twaalfstal stations, welke zo gelijkmatig mogelijk over Nederland verdeeld liggen, zijn de z.g. Penman (verdamping) cijfers berekend voor de verschillende maanden van de jaren 1933 tot en met 1953, met uitzondering van het jaar 1940.

Om deze verdampingscijfers te kunnen berekenen zijn de volgende meteorologische variabelen nodig: luchttemperatuur, zonnenschijnpercentage, relatieve vochtigheid en windsnelheid. Met behulp van het nomogram van P. J. RIJKOORT zijn de 2880 Penmancijfers uit deze variabelen bepaald.

Voor het berekenen van de maandcijfers van de luchttemperatuur zijn de gemiddelde overdagtemperaturen gebruikt. Zo zijn ook voor de maandcijfers van de relatieve vochtigheid de gemiddelde overdagwaarden genomen. De maandgemiddelden van de zonnenschijnpercentages zijn gewoon opgemaakt; indien op een station geen waarnemingen van zonnenschijnduur zijn verricht, dan worden de benodigde cijfers geïnterpoleerd uit isoheliënkaartjes. Uit gelijksoortige windsnelheidsmetingen worden gemiddelde maandcijfers berekend. Deze maandcijfers voor verschillende stations worden gedeeld door de overeenkomstige maandcijfers van één station. Met deze relatieve maandcijfers wordt een zomer- en een winter-isotachenpatroon gemaakt. Deze patronen, gekoppeld aan gemiddelde windsnelheidscijfers op 2 m hoogte van dat ene station, geven in benadering de gevraagde cijfers voor de gemiddelde windsnelheid op 2 meter hoogte. Er zijn echter vier soorten windsterkte-bepalingen, waardoor ook vier soorten windpatronen werden verkregen; het rekenkundig gemiddelde van de vier soorten windpatronen werd als het best bereikbare beschouwd.

In de tabellen B 1 zijn bijeengebracht de berekende maandcijfers der verdamping voor de 12 uitgekozen stations. De normaal van de jaarsom, gemiddeld over het gehele land, bedraagt 715 mm, met een standaardafwijking van 5,4 %.

De maandnormalen der verdamping van elk station vertonen een sterke jaarlijkse gang; voor alle stations geldt, dat het maximum der verdamping in juni valt en het minimum in december. De jaarlijkse gang der verdamping gaat dus met die der stralingsintensiteit van de zon samen.

Tabel B 2 en tabel B 3 zijn zeer instructief; deze laten zien, dat de grootste

verdamping, zowel absoluut als ook relatief, langs de zee kust en in Zuid-Limburg plaatsvindt. Men zou kunnen zeggen, dat het verdampingspatroon over Nederland ruwweg is samengesteld uit het wind- en het temperatuurpatroon. Deze conclusies zijn op zichzelf niet opzienbarend, daar ze van tevoren reeds konden worden ingezien; niettemin mogen we wel zeggen, dat de gevolgde methode van berekening der verdamping redelijk juist is gebleken.

In hoofdstuk 4. wordt aangetoond, dat de overeenkomst tussen de Penmancijfers en de verdampingsmetingen uit open bakken in het IJsselmeer nabij Urk voor elke maand van mei tot en met september goed is; gemiddeld over het tijdvak van april tot en met oktober is deze zelfs uitstekend. De overeenkomst tussen de Penmancijfers en de metingen met Piche-evaporimeters, voor elke maand van april tot en met september, is goed; de overeenkomst is niet goed in de maanden maart, oktober en november. Dit verschil in gedrag van de Piche-evaporimeter t.o.v. Penmancijfers is waarschijnlijk te wijten aan de geringe hoogte, waarop deze instrumenten worden opgesteld, zodat het al of niet aanwezig zijn van bladeren aan bomen en struiken een grote invloed heeft.

In hoofdstuk 5. worden enkele beschouwingen gegeven betreffende details in de afleiding van de formule van PENMAN.

SUMMARY

A computation of the evaporation over the Netherlands with the aid of PENMAN'S formula is given.

For twelve stations, which are evenly distributed over this country, the so-called Penman-figures have been computed for the various months of the years 1933 up to and including 1953, with the exception of the year 1940. The meteorological elements used for this computation are: airtemperature, percentage of the duration of sunshine, relative humidity and wind velocity. The calculation of the 2880 Penman-figures has been speeded up by the use of a nomogram designed for the purpose by P. J. RIJKOORT.

The computed monthly figures of evaporation for the 12 selected stations have been gathered in the tables B 1. The normal value of the yearly sum of evaporation averaged over the whole country, amounts to 715 mm with a standard deviation of 5,4 %.

The monthly normal values of evaporation show a large annual variation for every station; all stations have their maximum of evaporation in June and their minimum in December. The annual variation of the evaporation is in phase with the intensity of the sun's radiation.

Table B 2 and Table B 3 are very instructive; these tables show that the evaporation, absolutely as well as relatively, is greatest along the coast and in the southern part of the province of Limburg. One is led to assume that the pattern of evaporation over the Netherlands is roughly composed of the wind-pattern and the temperature-pattern. This conclusion is not new; it was known beforehand. Nevertheless we may say that the computation of figures of evaporation according to Penman's formula is reasonably correct.

In chapter 4. it is shown that Penman-figures and results of measurements of evaporation from floating open pans in the Yselmeer (formerly called Zuyder-sea) in the neighbourhood of Urk are in good agreement from May up to and including September.

The agreement between Penman-figures and results of measurements with Piche-evaporimeters is very good for the months of April up to and including September; the agreement is bad for the months of March, October and November. This difference in behaviour is apparently due to the fact that during the latter months the trees and scrubs are leafless.

In chapter 5. some remarks on details in the derivation of PENMAN'S formula are made.

LITERATUUROPGAVE

1. MAKKINK, G. F. Toetsing van de berekening van de evapo-transpiratie volgens PENMAN, Landbouwk. T. 67, 4, p. 267-282, 's-Gravenhage 1955.
2. KRAMER, C. Onderzoek naar de invloed van neerslag en verdamping op de dagelijkse fluctuaties van de grondwaterstand, Kon. Ned. Met. Inst. W.R. 54-002, De Bilt 1954.
3. — Bericht über Messungen mit dem Piche-Evaporimeter in einem Sondernetz von 20 Stationen, Zentralstelle d. Deu. Wetterd., Abt. Agrarmet., Bad Kissingen 1955.
4. PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, Proc. Roy. Soc., A 193, p. 120-145, London 1948.
5. PENMAN, H. L. Evaporation in Nature, Rep. on Progress in Physics 11, p. 366-388, 1948.
6. THORNTHWAITE, C. W. et al. The measurement of potential evapotranspiration, ed. J. R. MATHER, Publ. in Climatology, 7, 1, Seabrook (N.Y.) 1954.
7. WIJK, W. R. VAN, D. A. DE VRIES & R. H. A. VAN DUIN Potential Evapotranspiration, Neth. J. Agr. Sci., 1, 1, 's Gravenhage, 1953.
8. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. F: Zonneschijn en bewolking, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 40, 's Gravenhage, 1937.
9. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. G: Vochtigheid, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 41, 's Gravenhage, 1938.
10. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. E: Verdamping, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 39, 's Gravenhage, 1936.
11. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. D: Wind, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 32, 's Gravenhage, 1929.
12. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. D (vervolg): Wind, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 46, 's Gravenhage, 1942.
13. BRAAK, C. Het klimaat van Nederland. B (vervolg): Luchttemperatuur, Med. en Verh., Kon. Ned. Met. Inst., 43, 's Gravenhage, 1940.
14. LEVERT, C. Rapport van een detail-meteorologisch onderzoek 1942-'50. Kon. Ned. Met. Inst., R III A 87, 1951.
15. LEVERT, C. De gevolgen van verschillen tussen nationale instructies voor de behandeling van Campbell-Stokes diagrammen bij het tekenen van isoheliën, Kon. Ned. Met. Inst., W.R. 55-002, De Bilt, 1954.
16. RIJKOORT, P. J. Een nomogram voor de bepaling van E_0 volgens de formule van PENMAN, Kon. Ned. Met. Inst. R III-143, 1954.

17. — Verslagen van de Werkcommissie voor Verdampings-
onderzoek, nos 1 t.e.m. 7, 1948-1954,
Niet in de handel.
18. — Water-Loss Investigations Vol. 1: *Lake Hefner Studies*,
Technical Report,
Geol. Survey Circular 229, Washington D.C., 1952.
19. BRUNT, D. Physical and dynamical meteorology,
Cambridge 1939.
20. BARATA, A. TH. Considerações acerca do método de PENMAN para a medida
da evaporação em superfícies naturais,
Revista Agron. **38**, 1955.
21. DORSEY, N. E. Properties of ordinary water-substance,
New York 1940.
22. LEVERT, C. Functies van variabelen waartussen correlaties bestaan,
Kon. Ned. Met. Inst., R III-153, De Bilt, 1955.

TABEL B.1.1. Den Helder

	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	4,3	23,8	52,4	74,7	98,6	130,8	133,0	127,7	81,0	44,0	13,2	3,1	786,6
34	6,2	18,8	40,3	76,5	110,7	122,4	138,0	110,4	90,0	53,3	15,0	8,1	789,7
35	12,4	34,2	47,7	70,5	128,3	124,5	139,8	118,4	86,1	54,9	22,8	15,2	854,8
36	16,1	22,0	43,4	66,9	101,4	131,4	112,8	96,4	70,5	48,7	19,2	10,5	739,3
37	14,0	26,6	40,3	51,0	103,2	120,6	99,8	96,4	67,8	39,7	13,5	15,5	688,4
38	12,7	28,0	45,0	78,6	121,2	129,3	117,8	115,6	73,2	49,0	22,5	12,7	805,6
39	11,8	20,2	49,3	79,5	115,0	142,8	123,4	112,2	78,3	38,8	20,4	9,3	801,0
41	7,8	15,7	38,8	72,6	100,1	133,8	139,2	98,6	67,5	45,3	18,6	13,3	751,3
42	9,3	16,2	30,7	101,1	111,0	126,3	113,8	114,4	77,4	37,5	16,8	12,4	766,9
43	14,6	25,2	50,2	87,9	129,6	120,3	135,5	107,3	73,8	34,1	19,5	5,3	803,3
44	14,9	29,9	49,0	73,2	119,0	116,1	109,4	121,2	80,4	32,9	22,2	6,5	774,7
45	6,5	15,4	45,3	72,0	106,0	127,5	145,1	95,5	71,1	42,2	15,0	11,5	753,1
46	11,2	28,0	37,5	83,1	118,4	125,1	133,0	106,3	75,0	39,4	17,1	8,1	782,2
47	9,0	19,3	34,4	83,4	114,7	138,6	154,1	149,7	98,4	42,5	28,5	11,8	884,4
48	14,0	33,6	43,4	89,1	124,0	141,6	120,0	111,0	79,8	46,2	15,0	11,8	829,5
49	13,6	23,0	46,2	94,2	106,6	121,5	124,0	116,6	80,4	47,7	18,6	21,7	814,1
50	9,6	30,8	45,9	89,4	101,1	141,3	128,3	116,2	74,4	50,8	22,8	8,7	819,3
51	7,8	21,8	49,0	84,9	108,2	126,9	120,6	108,8	75,6	46,2	25,8	17,0	792,6
52	18,3	20,3	44,0	83,4	122,8	127,8	133,6	106,0	81,0	42,8	18,3	6,2	804,5
53	4,6	18,2	34,1	85,8	110,4	121,2	139,5	114,4	76,5	32,9	16,5	7,4	761,5
Gem.	10,9	23,6	43,3	79,9	112,5	128,5	128,0	112,2	77,9	43,4	19,1	10,8	790,1

TABEL B1.2. Hoorn

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	1,6	18,5	49,3	66,6	104,5	128,7	129,0	112,5	69,6	27,6	5,1	-1,2	711,8
34	2,5	12,6	34,1	73,2	106,6	130,5	131,8	96,7	73,8	31,6	5,4	3,4	702,2
35	1,9	23,0	41,2	60,6	114,1	124,2	131,8	108,2	66,6	37,5	12,6	5,0	726,7
36	5,0	13,3	36,0	60,3	106,3	132,6	113,2	92,4	58,5	30,1	10,5	5,0	663,2
37	6,5	19,3	31,3	50,4	103,2	118,8	101,7	93,3	57,0	31,6	6,3	0,3	619,7
38	6,2	20,2	45,3	70,2	110,7	127,8	111,6	104,8	65,4	36,6	14,1	4,6	717,5
39	4,3	16,8	37,5	77,1	113,5	141,9	115,6	106,0	65,7	27,3	10,8	1,2	717,7
41	2,5	12,3	33,5	71,1	99,5	139,5	142,3	87,7	59,7	28,2	8,4	4,3	689,0
42	1,9	13,7	29,1	106,5	115,3	123,3	110,0	107,0	62,7	34,4	7,2	-1,9	709,2
43	6,2	19,0	45,9	89,7	133,6	115,2	133,0	96,1	59,7	24,2	9,0	-1,2	730,4
44	10,5	18,8	41,8	76,8	119,4	113,4	106,6	119,0	66,9	28,2	13,2	1,6	716,2
45	4,6	14,0	40,3	70,2	101,1	131,1	128,6	81,8	55,2	29,1	5,1	2,8	663,9
46	6,5	22,1	32,9	90,3	120,3	124,2	128,0	95,5	63,9	30,4	11,1	4,6	729,8
47	2,2	12,9	34,4	87,0	125,9	146,7	153,8	143,5	87,3	36,0	19,5	6,5	855,7
48	10,2	22,6	42,5	84,6	125,3	137,4	123,7	100,8	69,6	35,6	12,9	8,4	773,5
49	10,5	22,4	44,3	93,3	106,3	127,5	125,2	107,9	70,2	34,7	12,6	11,2	766,1
50	5,9	26,3	43,7	80,7	96,4	148,5	120,3	105,4	59,1	32,6	12,0	2,2	733,1
51	6,2	16,2	39,4	77,7	106,0	126,9	115,9	93,9	54,9	31,6	14,7	6,8	690,2
52	8,7	14,8	36,0	84,0	115,0	117,3	122,8	96,7	58,2	28,2	7,5	1,6	690,8
53	3,1	15,1	30,1	77,1	106,0	107,7	124,6	101,1	66,9	22,6	10,8	0,9	666,0
Gem.	5,4	17,7	38,4	77,4	111,4	128,2	123,5	102,5	64,5	30,9	10,4	3,3	713,6

TABEL B.1.3. *Joure*

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	2,8	18,5	49,9	65,7	101,4	127,8	124,3	109,4	68,7	28,2	6,6	0,6	703,9
34	3,7	15,1	41,2	75,9	110,7	124,8	130,5	100,8	72,6	27,6	6,0	2,2	711,1
35	3,4	23,2	40,9	66,0	116,6	124,2	125,6	112,2	63,9	32,2	10,2	5,3	723,7
36	6,2	15,7	36,9	58,2	100,4	135,0	112,8	90,5	57,9	27,3	8,7	4,0	633,6
37	9,3	15,1	30,4	51,3	107,9	105,3	100,4	89,6	57,6	29,8	5,7	1,9	604,3
38	4,6	19,3	44,6	70,8	112,5	127,5	113,2	102,9	60,6	30,4	10,5	5,9	702,8
39	4,3	16,5	38,8	72,0	114,4	147,6	116,6	106,3	64,2	26,7	11,4	1,6	720,4
41	2,5	13,2	34,4	72,0	101,7	141,0	138,9	89,3	61,5	27,0	9,3	2,2	693,0
42	3,4	12,0	31,6	96,6	109,4	117,0	108,8	106,3	63,3	26,4	6,3	1,9	683,0
43	8,7	17,4	47,1	35,8	135,8	117,0	134,2	95,8	62,1	25,1	6,6	-0,3	735,3
44	8,1	19,1	39,4	75,3	115,9	115,2	105,7	115,9	61,5	25,1	9,6	-0,9	689,9
45	3,7	14,3	43,1	69,3	98,6	123,0	128,3	80,6	60,6	30,1	7,2	5,0	663,8
46	7,4	17,9	33,2	87,6	116,6	115,5	120,6	89,0	59,7	24,5	6,9	3,1	682,0
47	2,5	15,7	33,2	79,5	125,6	142,5	148,2	141,0	78,0	29,4	10,8	2,5	808,9
48	2,8	24,6	41,8	86,4	116,2	122,7	114,4	84,3	59,7	24,5	6,3	5,9	689,6
49	7,8	19,0	40,9	86,7	99,2	111,9	109,1	95,8	63,0	27,0	6,6	6,5	673,5
50	5,9	19,6	36,3	74,1	92,1	135,9	114,4	99,5	52,5	27,9	7,5	3,1	668,8
51	5,9	16,8	38,8	71,1	104,8	124,2	108,2	93,3	63,0	31,9	10,5	1,9	670,4
52	8,1	14,8	38,8	81,3	111,6	118,5	116,6	88,7	56,7	23,6	6,3	0,6	665,6
53	1,9	14,6	32,9	75,3	103,2	113,4	120,3	97,6	67,5	21,4	8,4	3,7	660,2
Gem.	5,2	17,1	38,7	75,0	109,7	124,5	119,6	99,4	62,7	27,3	8,1	2,8	690,1

TABEL B1.4. Groningen (Eelde) ¹⁾

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	3,4	19,9	53,9	71,1	100,4	121,5	114,1	104,8	69,0	28,2	7,5	2,2	696,0
34	5,6	7,3	37,5	82,2	114,1	135,0	125,9	98,9	76,8	30,4	9,3	5,6	728,6
35	5,6	26,9	45,3	72,9	127,1	128,7	124,3	111,3	68,1	36,3	15,6	5,9	768,0
36	9,6	14,8	38,4	58,5	97,6	129,6	108,5	89,3	57,9	30,1	11,7	6,8	652,8
37	12,1	19,3	33,2	54,9	107,0	113,1	89,6	91,8	57,3	32,6	7,5	2,5	620,9
38	6,8	21,8	46,8	76,8	111,6	118,2	104,5	109,1	60,9	29,4	11,4	4,3	701,6
39	6,5	17,1	41,2	75,0	115,9	142,2	111,3	102,3	62,4	27,0	14,1	2,2	717,2
41	2,8	13,4	34,7	71,7	102,9	135,9	137,0	87,1	56,1	29,1	11,4	5,9	688,0
42	1,9	13,4	34,4	104,1	115,6	119,4	108,5	106,0	65,4	28,2	9,3	4,0	710,2
43	8,1	21,8	52,1	88,2	134,8	113,4	132,7	96,4	59,7	27,9	8,1	-0,3	742,9
44	10,2	20,0	41,5	76,2	114,4	113,4	107,3	118,7	55,2	25,4	11,7	1,6	695,6
45	3,4	16,0	45,9	71,7	108,5	124,8	128,3	80,3	62,4	31,6	8,4	3,1	684,4
46	9,3	20,7	36,6	93,3	117,2	120,3	124,9	91,8	63,6	29,8	11,4	3,4	722,3
47	4,0	15,7	33,5	87,6	129,0	141,6	144,5	138,0	82,8	32,9	13,8	4,3	827,7
48	6,8	26,7	44,0	92,4	123,1	125,1	126,2	92,4	66,9	32,2	10,8	8,7	755,3
49	9,0	19,3	42,2	91,8	113,2	114,9	115,6	104,8	69,6	34,4	10,8	9,9	735,5
50	5,3	22,1	43,1	84,0	98,3	141,3	117,2	107,9	53,4	33,2	21,3	0,9	728,0
51	5,9	18,5	40,6	80,1	112,5	124,2	111,6	94,6	69,0	37,2	15,9	6,5	716,6
52	7,1	22,0	39,1	84,6	117,2	115,2	112,8	92,7	56,1	29,4	5,7	0	681,9
53	1,9	12,6	36,3	81,0	110,4	113,7	122,8	100,1	67,8	24,8	9,9	2,5	683,8
Gem.	6,3	18,5	41,0	79,9	113,5	124,6	118,4	100,9	64,0	30,5	11,3	4,0	712,9

¹⁾ t/m jan 1952 Groningen.

TABEL B 1.5. *Witteveen*

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	3,1	16,2	46,8	62,1	94,9	116,1	110,0	100,4	63,6	22,3	4,5	0,6	640,6
34	2,8	14,3	31,9	74,7	105,4	128,7	128,3	89,9	68,7	23,9	5,1	-1,6	672,1
35	2,2	19,0	39,4	61,5	112,5	123,0	119,4	105,1	57,6	29,8	9,9	4,0	683,4
36	4,0	13,3	34,4	53,1	94,9	128,1	101,7	84,3	51,9	23,9	6,3	3,4	599,3
37	7,1	13,7	28,2	47,4	102,0	110,1	90,8	85,6	53,1	26,4	3,3	0,9	568,6
38	2,8	16,8	42,5	70,5	105,1	117,0	101,1	97,0	57,3	25,7	8,1	2,8	646,7
39	4,3	15,7	35,3	69,0	113,2	137,4	103,5	93,9	54,6	22,6	7,5	1,2	658,2
41	1,9	13,7	34,1	68,4	98,3	136,8	130,5	78,1	55,2	24,8	9,0	4,0	654,8
42	2,8	10,4	29,8	94,5	104,8	110,7	100,1	102,3	58,5	24,2	6,0	2,2	646,3
43	3,1	16,5	45,9	84,9	132,4	107,1	132,1	90,5	57,3	24,8	4,5	-2,2	696,9
44	5,9	15,4	35,3	72,6	109,1	105,0	97,3	113,8	56,4	22,6	7,5	-1,9	639,0
45	0,9	13,2	41,5	67,8	102,0	124,5	122,4	74,4	56,4	26,7	5,4	2,8	638,0
46	5,6	15,4	32,9	86,1	119,4	109,2	118,4	85,2	58,8	24,8	7,2	2,2	665,2
47	3,4	16,8	34,4	81,9	107,0	138,0	138,6	136,1	74,4	29,4	7,5	0,6	768,1
48	2,2	22,6	41,8	88,8	117,2	119,1	111,9	84,6	60,0	25,4	5,1	2,2	680,9
49	3,4	15,1	40,3	84,3	96,4	107,1	112,2	98,9	65,1	27,0	4,2	1,2	655,2
50	1,6	19,9	38,4	75,9	98,6	138,9	113,5	103,8	50,7	29,1	7,5	-0,3	677,6
51	4,0	14,6	37,5	75,3	111,3	122,7	110,0	86,2	65,1	34,4	12,6	0,9	674,6
52	3,4	13,3	38,8	86,7	115,9	116,7	112,5	89,3	54,9	25,4	4,8	0	661,7
53	1,2	11,5	36,0	82,8	113,8	110,7	116,6	104,8	69,9	22,9	10,2	0,3	680,7
Gem.	3,3	15,4	37,3	74,4	107,7	120,3	113,5	95,2	59,5	25,8	6,8	1,2	660,4

TABEL B1.6. Naaldwijk

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	2,2	20,7	52,4	74,1	99,5	138,6	139,5	120,6	72,6	31,9	6,9	0	759,0
34	5,6	15,7	37,5	80,4	106,6	134,4	138,0	109,4	79,8	35,3	9,9	3,7	756,3
35	5,0	25,8	46,2	68,4	120,9	132,3	136,4	116,2	76,8	36,9	13,2	10,5	788,6
36	9,6	16,5	41,2	70,8	117,2	132,6	114,7	103,5	63,0	36,0	12,6	5,6	723,3
37	6,2	23,8	36,9	49,5	108,5	123,6	105,1	95,2	60,3	31,3	6,6	1,9	648,9
38	4,0	20,7	45,9	73,5	111,6	141,0	114,4	111,3	72,3	37,5	12,9	6,2	751,3
39	8,7	17,6	43,7	86,4	111,3	155,4	124,0	111,6	76,2	28,5	10,8	1,6	775,8
41	4,3	14,6	39,7	81,6	107,9	170,4	153,8	93,6	67,5	33,5	10,5	4,6	782,0
42	5,3	12,9	33,2	115,5	115,0	135,3	116,9	118,7	73,2	30,7	10,5	2,2	769,4
43	5,9	18,2	45,9	92,4	129,6	114,0	127,1	94,9	61,5	25,4	10,2	-2,5	722,6
44	4,0	18,0	39,1	74,7	120,6	115,8	105,7	120,0	71,4	30,4	16,2	3,1	719,0
45	3,1	13,2	41,8	75,9	106,6	130,5	142,9	92,1	67,5	39,7	8,7	5,9	727,9
46	5,9	20,7	37,2	94,2	123,1	118,2	147,9	93,9	68,4	31,0	13,8	3,7	758,0
47	3,4	12,9	33,8	88,2	129,0	149,4	151,3	165,5	91,5	32,9	22,2	7,4	887,5
48	6,8	29,6	48,7	90,3	120,0	129,3	124,6	100,8	72,9	32,2	7,8	5,3	768,3
49	6,5	18,2	45,0	97,8	103,8	129,3	134,5	124,6	76,8	35,6	12,0	12,1	796,2
50	4,6	24,9	43,4	86,4	107,0	155,7	127,4	108,5	67,5	36,9	16,2	3,1	781,6
51	3,7	17,1	41,8	81,9	106,3	132,0	121,8	96,4	67,5	32,9	17,7	6,2	725,3
52	10,2	15,7	38,8	95,1	120,3	129,9	134,8	99,8	66,3	35,3	12,3	0,9	759,4
53	2,5	16,5	36,9	84,3	114,1	122,7	136,7	122,8	85,5	29,4	14,1	2,5	768,0
Gem.	5,4	18,7	41,5	83,1	113,9	134,5	129,9	110,0	71,9	33,2	12,3	4,2	758,6

TABEL B.1.7. *De Bilt*

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	0,3	19,0	53,6	67,5	101,4	127,2	131,1	108,2	66,9	26,0	5,1	-0,9	705,4
34	2,5	16,2	38,8	83,7	104,2	135,6	133,3	96,1	73,2	29,4	7,2	4,3	724,5
35	2,2	24,1	45,6	62,7	112,8	126,3	130,8	102,3	61,8	29,8	12,6	5,0	716,0
36	7,1	14,8	39,7	63,0	109,7	132,3	107,3	92,7	56,1	28,8	8,4	3,4	663,3
37	5,9	19,6	32,6	50,1	107,0	118,2	101,7	93,3	55,5	28,5	5,1	1,2	618,7
38	5,3	21,8	45,6	68,1	104,5	126,0	102,3	91,8	59,7	27,6	10,8	3,4	666,9
39	6,2	16,2	39,4	78,9	109,1	144,0	111,9	99,2	61,8	23,9	11,4	0,3	702,3
40	3,1	12,6	37,2	75,0	97,6	136,2	139,2	77,8	59,4	25,4	8,1	2,2	673,8
41	-0,3	9,0	34,1	109,8	107,6	123,3	105,4	100,8	62,7	25,7	6,0	0,9	685,0
42	3,7	16,2	49,0	89,4	129,0	108,0	128,3	93,9	56,1	23,6	6,9	-2,5	701,6
43	8,1	19,7	41,2	80,7	111,3	110,7	102,0	114,7	62,4	24,5	11,4	0,0	686,7
44	1,9	16,0	42,8	74,7	104,8	133,8	129,6	85,6	58,5	29,8	7,8	4,0	689,3
45	5,6	20,2	36,9	88,5	118,7	114,0	127,7	85,2	59,1	26,4	11,4	0,6	694,3
46	1,9	12,9	33,8	84,9	116,9	139,8	148,5	144,8	80,4	29,8	12,6	2,8	809,1
47	5,9	25,8	48,7	86,4	113,8	120,3	112,5	92,1	60,9	28,2	6,3	4,0	704,9
48	3,7	17,9	44,3	90,3	100,8	123,3	132,1	105,1	67,8	30,7	7,5	6,5	730,0
49	0,9	22,1	41,8	77,4	101,4	145,2	111,9	98,9	50,7	30,1	9,9	-0,9	689,4
50	4,3	16,5	40,6	77,7	108,2	123,9	111,9	81,8	60,6	31,9	13,8	2,8	674,0
51	4,3	13,6	39,4	88,8	116,6	120,3	117,2	87,7	56,7	27,3	6,9	0,0	678,8
52	1,2	15,1	38,8	84,0	115,9	111,6	121,2	105,1	67,8	23,9	10,8	0,6	696,0
Gem.	3,7	17,5	38,2	79,1	109,6	126,0	120,3	97,9	61,9	27,6	9,0	1,9	695,7

TABEL B1.8. Winterswijk

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	2,8	14,6	53,3	64,8	93,0	115,5	120,9	102,9	61,8	24,8	4,5	-1,9	657,0
34	2,2	14,6	35,3	81,9	106,3	126,0	129,6	89,0	68,4	28,2	6,0	3,4	690,9
35	1,2	21,0	41,8	61,5	111,9	125,4	126,5	98,3	60,9	30,1	12,6	3,7	694,9
36	5,6	13,3	38,4	54,9	104,5	131,1	105,4	90,5	54,3	25,1	8,1	2,8	634,0
37	5,9	6,8	30,4	50,1	110,0	111,9	98,6	84,6	53,4	30,1	4,8	0,6	587,2
38	4,3	17,6	42,5	66,6	103,5	127,8	104,5	94,6	60,0	27,0	9,3	3,4	661,1
39	6,5	16,2	38,1	73,5	107,0	141,9	107,6	90,5	51,0	21,1	10,5	0	663,9
41	1,6	12,3	33,2	65,7	93,3	131,4	128,6	73,2	56,1	23,2	7,2	0,6	626,4
42	0	9,5	32,9	93,3	96,1	113,7	99,8	99,5	60,0	31,9	4,8	3,4	644,9
43	4,6	14,8	44,6	82,5	121,5	94,5	125,6	92,1	54,6	23,9	4,5	-2,2	661,0
44	3,4	13,3	32,2	71,7	103,5	99,6	89,0	111,0	55,5	22,3	7,2	-2,5	606,2
45	0	13,7	36,6	66,3	102,0	130,5	124,0	70,1	55,8	26,0	4,5	2,8	632,3
46	5,9	13,4	31,3	80,4	108,8	103,5	114,1	80,9	56,7	22,9	9,0	1,9	628,8
47	1,6	11,2	32,9	76,2	107,9	128,7	138,0	129,6	72,3	28,2	9,0	2,2	737,8
48	6,5	18,8	44,3	78,6	108,2	109,8	102,0	86,5	56,1	24,8	8,1	3,1	646,8
49	3,1	16,2	39,7	85,5	98,6	109,2	120,3	98,6	58,5	28,2	7,2	4,0	669,1
50	1,2	20,4	40,3	69,0	101,4	139,5	112,5	102,0	50,1	28,5	11,1	2,8	678,8
51	6,5	17,6	38,8	73,2	101,1	117,6	112,8	85,2	60,6	29,8	13,8	2,2	659,2
52	5,6	13,0	38,4	84,9	107,3	115,5	111,6	92,1	48,3	27,3	6,6	1,2	651,8
53	1,6	13,4	36,9	83,1	113,8	110,4	108,2	99,8	67,5	24,5	11,1	2,2	672,5
Gem.	3,5	14,6	38,1	73,2	105,0	119,2	114,0	93,6	58,1	26,4	8,0	1,7	655,4

TABEL B 1.9. *Vlissingen*

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	3,1	21,3	53,6	72,3	104,5	140,1	139,2	124,0	74,7	40,0	10,5	0,6	783,9
34	7,8	18,9	43,1	77,4	107,3	130,8	140,4	110,4	87,3	42,5	12,3	8,7	786,9
35	7,8	27,7	46,2	64,5	113,5	126,6	154,1	119,0	79,2	43,1	17,1	11,5	810,3
36	13,3	18,0	38,1	70,2	112,8	129,9	112,8	105,4	63,6	42,2	13,6	8,4	728,3
37	10,5	23,5	39,1	53,4	103,2	126,0	106,6	102,9	64,5	36,6	9,6	4,0	679,9
38	10,5	25,5	48,4	73,5	107,9	139,2	116,2	108,8	69,9	43,4	15,7	1,6	760,6
39	12,7	18,8	45,0	83,4	111,3	144,9	114,7	107,3	73,5	31,0	15,3	5,6	763,5
41	4,6	16,8	39,7	77,7	104,5	132,0	123,7	90,2	65,4	40,3	11,8	9,3	716,0
42	5,0	12,6	32,9	108,9	113,8	145,5	120,0	114,7	79,8	33,5	12,9	7,4	787,0
43	7,4	21,0	46,2	93,3	135,2	120,6	128,6	102,3	66,9	29,8	13,5	1,2	766,0
44	9,0	21,8	42,8	75,0	122,1	117,9	109,1	116,6	76,2	30,7	17,1	3,4	741,7
45	0	15,7	43,1	76,8	107,9	135,9	145,1	99,2	64,8	40,0	10,5	8,4	747,4
46	10,8	24,4	37,2	59,1	112,2	114,0	134,2	98,3	71,4	40,3	19,5	6,5	727,9
47	5,9	15,4	34,1	84,9	123,4	136,8	141,0	163,4	87,9	39,4	21,9	9,0	863,1
48	10,8	30,7	49,9	91,5	121,5	125,7	115,6	99,8	71,1	36,6	11,1	5,6	769,9
49	7,8	22,7	42,2	93,0	97,6	122,7	137,6	111,3	77,7	38,4	12,6	10,2	773,8
50	4,6	27,7	44,6	81,6	104,5	153,3	127,7	112,5	66,3	36,3	16,8	4,0	779,9
51	6,8	22,4	45,3	86,4	105,4	132,9	119,7	89,3	68,4	33,8	16,8	8,7	735,9
52	9,9	16,0	38,4	86,4	120,9	127,2	123,4	100,1	63,9	35,6	12,0	3,1	736,9
53	3,1	17,1	39,4	84,9	113,8	105,0	121,8	116,6	82,5	28,8	14,1	3,4	730,5
Gem.	7,6	20,9	42,5	79,7	112,2	130,4	126,6	109,6	72,8	37,1	14,2	6,0	759,6

TABEL B.1.10. Oudembosch

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	0,6	20,2	68,8	75,3	106,0	134,4	134,5	112,5	67,5	28,2	6,6	-0,3	754,3
34	5,3	15,7	41,2	82,5	106,3	132,6	136,7	103,8	76,2	31,9	6,6	6,5	745,3
35	1,9	24,6	48,4	68,1	116,2	126,6	141,7	104,8	63,9	31,9	12,6	2,5	743,2
36	7,4	14,5	41,8	66,0	115,0	131,4	103,5	94,9	57,9	30,1	9,3	4,3	676,1
37	8,1	18,2	35,0	54,9	91,1	125,1	106,0	89,9	56,7	28,8	5,7	1,6	621,1
38	2,2	18,8	47,7	71,4	108,2	140,4	110,4	99,2	65,4	33,5	11,7	3,4	712,3
39	7,8	17,6	42,5	81,0	111,0	148,5	116,9	100,4	61,2	24,2	11,7	0	722,8
41	3,4	14,0	35,3	74,4	100,1	130,5	137,6	80,6	59,7	27,3	9,3	3,1	675,3
42	1,9	10,9	36,0	110,7	114,4	132,0	112,5	109,4	70,2	28,5	7,8	3,1	737,4
43	5,6	17,1	45,3	91,8	25,2	113,4	127,7	95,8	59,7	24,5	6,3	-1,2	711,2
44	6,5	15,4	40,3	73,8	111,9	111,9	99,2	111,0	60,0	27,3	12,6	1,6	671,5
45	0,6	16,0	41,2	75,3	103,2	127,2	138,6	85,9	60,0	31,6	6,3	4,0	689,9
46	5,0	20,7	35,3	92,4	115,3	112,5	132,7	88,4	65,1	29,8	13,5	1,6	712,3
47	2,2	12,0	35,6	87,6	129,6	149,7	150,0	157,8	82,5	33,2	15,3	5,0	860,5
48	9,0	25,8	48,7	89,4	115,0	122,1	116,9	97,0	57,9	30,7	7,8	4,3	724,6
49	5,6	19,3	43,4	97,2	102,3	108,6	140,7	111,6	76,2	33,5	8,4	6,2	753,0
50	2,2	25,5	41,2	79,8	106,6	132,7	120,6	107,3	58,2	32,2	12,3	0,3	738,9
51	5,6	17,9	41,5	80,7	106,3	131,7	119,4	87,7	64,8	31,0	14,7	3,4	704,7
52	4,6	13,9	38,4	90,3	122,8	129,3	122,8	96,4	54,9	30,1	6,9	0	710,4
53	1,9	15,1	38,8	83,7	120,9	113,4	121,5	109,4	73,2	25,1	9,5	0,6	713,2
Gem.	4,4	17,7	42,3	81,3	111,4	128,7	124,5	102,2	64,6	29,7	9,8	2,5	719,1

TABEL B.1.11. Gemert

	jan	feb	mar	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	-1,6	16,5	52,7	67,5	93,0	121,5	125,9	109,7	66,0	26,0	-1,2	-0,9	675,1
34	2,8	14,8	37,8	85,2	103,8	128,1	132,4	93,9	69,6	27,0	5,1	3,4	703,9
35	0,9	20,7	43,1	66,6	111,3	125,7	133,6	102,9	61,2	30,4	15,0	5,3	716,7
36	9,3	14,2	41,2	60,3	107,6	127,8	98,9	94,6	54,0	27,0	10,8	5,0	650,7
37	7,1	19,9	32,6	51,0	106,6	117,6	104,5	87,7	53,4	28,2	6,0	2,5	617,1
38	6,5	19,6	45,9	66,9	102,9	130,8	108,5	91,4	59,1	27,9	11,7	3,4	674,6
39	7,8	18,8	40,9	79,2	107,6	143,7	111,9	97,0	57,3	22,0	10,8	1,2	698,2
41	2,8	15,1	36,0	74,4	95,2	129,6	130,2	74,4	59,4	22,3	7,8	2,5	649,7
42	1,6	11,5	34,7	99,9	103,5	124,2	97,0	103,8	61,8	26,4	6,9	5,0	676,3
43	5,3	17,9	44,6	90,3	121,2	100,8	127,4	92,7	55,2	22,3	5,7	-1,2	681,9
44	6,5	15,1	36,3	78,0	110,0	105,9	88,4	111,9	54,9	21,4	9,9	0,6	638,9
45	4,0	17,9	40,9	70,2	100,1	132,0	131,8	76,0	57,9	30,1	7,8	5,9	674,6
46	5,6	18,8	33,2	78,9	98,3	102,9	120,0	77,8	55,5	25,1	13,5	7,1	636,7
47	3,4	14,0	35,6	82,5	112,5	136,2	140,4	141,4	74,7	29,1	12,3	4,6	786,7
48	6,2	21,5	50,2	83,7	110,0	112,5	105,7	92,7	57,0	26,4	8,1	3,1	677,1
49	8,1	20,7	46,8	95,7	103,5	121,8	135,8	103,8	69,0	29,4	9,0	6,8	750,4
50	1,9	24,4	42,8	74,7	104,5	146,1	115,3	103,2	50,7	28,8	12,6	1,9	706,9
51	6,8	18,8	41,5	78,0	101,4	120,9	117,5	87,7	60,0	28,8	14,4	2,8	678,6
52	5,9	14,2	40,0	90,9	111,6	118,5	119,0	92,4	51,6	27,6	8,1	1,6	681,4
53	2,2	15,7	39,7	85,5	116,2	110,4	116,2	105,4	68,7	23,6	11,7	2,5	697,8
Gem.	4,7	17,5	40,8	78,0	106,0	122,9	118,0	97,0	59,9	26,5	9,3	3,2	683,8

TABEL B.1.12. *Vliegveld Zuid Limburg (Beek)*

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar
1933	4,0	19,6	61,4	72,9	96,1	127,5	133,9	116,6	69,6	29,8	6,0	-0,3	737,1
34	6,5	16,2	48,0	90,3	111,0	129,9	139,8	105,7	78,0	32,2	7,2	8,7	773,5
35	3,1	24,6	47,1	64,2	110,4	142,8	141,4	106,0	71,1	35,3	19,5	8,4	773,9
36	11,8	16,5	43,7	58,5	107,3	124,5	103,8	95,5	60,9	28,5	10,5	5,6	667,1
37	10,8	23,2	34,4	54,3	108,5	79,2	111,0	87,4	60,0	33,2	8,4	3,7	614,1
38	9,9	22,7	53,6	63,9	106,3	141,3	99,5	93,9	63,9	34,4	16,5	8,7	714,6
39	14,3	22,1	40,9	77,7	129,0	142,5	120,6	94,2	58,2	24,2	14,4	2,8	740,9
41	4,3	17,9	42,2	77,7	102,0	124,2	131,4	83,1	64,2	27,6	13,2	3,7	691,5
42	4,3	11,8	49,0	106,5	107,3	129,9	112,2	112,8	67,2	30,7	8,4	9,3	749,4
43	9,9	21,0	47,1	93,3	123,7	105,9	131,8	104,5	63,0	28,8	10,8	1,6	741,4
44	10,2	15,7	37,5	82,2	115,6	113,1	106,3	119,4	62,4	27,0	14,1	4,6	708,1
45	1,6	20,2	47,1	78,3	114,7	139,8	142,3	82,2	61,5	33,8	10,8	7,4	739,7
46	4,3	20,4	36,9	90,0	103,8	117,3	146,0	92,7	64,2	27,6	16,5	3,7	723,4
47	5,3	13,4	41,5	101,1	123,1	145,5	146,3	142,6	82,5	34,7	17,1	7,8	860,9
48	5,9	22,9	54,2	86,4	116,9	117,9	107,0	99,2	93,6	32,9	12,6	8,1	757,6
49	11,2	25,8	46,8	99,3	102,3	125,1	139,5	108,8	75,0	34,7	13,8	10,8	793,1
50	5,6	30,5	48,4	79,2	119,7	161,1	131,1	114,4	58,2	34,4	17,7	4,6	804,9
51	12,4	24,4	45,9	84,0	115,0	115,5	121,8	100,1	68,4	32,2	21,0	6,8	747,5
52	11,8	16,0	45,3	96,9	117,5	129,6	128,3	101,1	53,1	31,9	12,0	5,3	748,8
53	0,3	13,7	36,3	81,6	110,0	106,5	109,1	107,0	81,6	25,4	10,2	2,2	683,9
Gem.	7,4	19,9	45,4	81,9	112,0	126,0	125,2	103,4	67,8	31,0	13,0	5,7	738,7

TABEL B.2. Jaarssommen (Landgemiddelden)

	Gem. over 20 j.	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1941	1942	1943
1. Den Helder	790,1	786,6	789,7	854,8	739,3	688,4	805,6	801,0	751,3	766,9	803,3
2. Hoorn	713,6	711,8	702,2	726,7	663,2	619,7	717,5	717,7	689,0	709,2	730,4
3. Joure	690,1	703,9	711,1	723,7	653,6	604,3	702,8	720,4	693,0	683,0	735,3
4. Eelde	712,9	696,0	728,6	768,0	652,8	620,9	701,6	717,2	688,0	710,2	742,9
5. Witteveen	660,4	640,6	672,1	683,4	599,3	568,6	646,7	658,2	654,8	646,3	696,9
6. Naaldwijk	758,6	759,0	756,3	788,6	723,3	648,9	751,3	775,8	782,0	769,4	722,6
7. De Bilt	695,7	705,4	724,5	716,0	663,3	618,7	666,9	702,3	673,8	685,0	701,6
8. Winterswijk	655,4	657,0	690,9	694,9	634,0	587,2	661,1	663,9	626,4	644,9	661,0
9. Vlissingen	759,6	783,9	786,9	810,3	728,3	679,9	760,6	763,5	716,0	787,0	766,0
10. Oudenbosch	719,1	754,3	745,3	743,2	676,1	621,1	712,3	722,8	675,3	737,4	711,2
11. Gemert	683,8	675,1	703,9	716,7	650,7	617,1	674,6	698,2	649,7	676,3	681,9
12. Zd. Limburg	738,7	737,1	773,5	773,9	667,1	614,1	714,6	740,9	691,5	749,4	741,4
Som	8578,0	8610,7	8785,0	9000,2	8051,0	7488,9	8565,6	8681,9	8290,8	8565,0	8694,5
Landgem.	715,0	717,6	732,1	750,0	670,9	624,1	713,8	723,5	690,9	713,8	724,5

TABEL B3

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Den Helder	10,9	23,6	43,3	79,9	112,5	128,5	128,0	112,2	77,9	43,4	19,1	10,8
Hoorn	5,4	17,7	38,4	77,4	111,4	128,2	123,5	102,5	64,5	30,9	10,4	3,3
Joure	5,2	17,1	38,7	75,0	109,7	124,5	119,6	99,4	62,7	27,3	8,1	2,8
Eelde	6,3	18,5	41,0	79,9	113,5	124,6	118,4	100,9	64,0	30,5	11,3	4,0
Witteveen	3,3	15,4	37,3	74,4	107,7	120,3	113,5	95,2	59,5	25,8	6,8	1,2
Naaldwijk	5,4	18,7	41,5	83,1	113,9	134,5	129,9	110,0	71,9	33,2	12,3	4,2
De Bilt	3,7	17,5	41,2	79,1	109,6	126,0	120,3	97,9	61,9	27,6	9,0	1,9
Winterswijk	3,5	14,6	38,1	73,2	105,0	119,2	114,0	93,6	58,1	26,4	8,0	1,7
Vlissingen	7,6	20,9	42,5	79,7	112,2	130,4	126,6	109,6	72,8	37,1	14,2	6,0
Oudenbosch	4,4	17,7	42,3	81,3	111,4	128,7	124,5	102,2	64,6	29,7	9,8	2,5
Gemert	4,7	17,5	40,8	78,0	106,0	122,9	118,0	97,0	59,9	26,5	9,3	3,2
Zd. Limburg	7,4	19,9	45,4	81,9	112,0	126,0	125,2	103,4	67,8	31,0	13,0	5,7
Gen.	5,65	18,3	40,9	78,6	110,4	126,2	121,8	102,0	65,5	30,8	10,9	3,9

(Urk) met de verdamping (P) volgens PENMAN (gemiddelde van de 3 stations Hoorn, Joure en DeBilt)

	1946				1947				1948			
	P	B	P-B	P-B in % van B	P	B	P-B	P-B in % van B	P	B	P-B	P-B in % van B
apr	89	79	+10	+13	—	—	—	—	86	72	+14	+19
mei	119	121	— 2	— 2	123	118	+ 5	+ 4	118	116	+ 2	+ 2
jun	118	119	— 1	— 1	143	124	+19	+15	127	118	+ 9	+ 8
jul	126	127	— 1	— 1	150	153	— 3	— 2	117	114	+ 3	+ 3
aug.	90	85	+ 5	+ 6	143	149	— 6	— 4	92	113	—21	—19
sep	61	53	+ 8	+15	82	82	0	0	64	71	— 7	—10
okt	—	—	—	—	32	49	—17	—35	30	44	—14	—32
Totaal									634	648	—14	— 2
	1952				1953				gemiddeld over 11 jaren			
apr	85	65	+20	+31	79	76	+ 3	+ 4	83	69	+14	+20
mei	115	119	— 4	— 3	108	106	+ 2	+ 2	111	105	+ 6	+ 6
jun	119	114	+ 5	+ 4	111	105	+ 6	+ 6	125	120	+ 5	+ 4
jul	120	133	—13	—10	123	131	— 8	— 6	122	123	— 1	— 1
aug	92	98	— 6	— 6	102	105	— 3	— 3	101	103	— 2	— 2
sep	58	84	—26	—31	69	72	— 3	— 4	64	70	— 6	— 9
okt	26	34	— 8	—24	23	34	—11	—32	27	36	— 9	—25
Totaal	615	647	—32	— 5	615	629	—14	— 2	633	626	+ 7	+ 1



*Van de reeks MEDEDELINGEN EN VERHANDELINGEN zijn bij het Staatsdrukkerij-
en Uitgeverijbedrijf nog verkrijgbaar de volgende nummers:*

23, 25, 26, 27, 29b, 30, 31, 33, 34b, 35, 36, 37, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45,
46, 47, 48.

alsmede:

49. A. Labrijn. Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw. — The climate of the Netherlands during the last two and a half centuries. 1945. (114 blz. met 6 fig. en 1 kaart)	1,15
50. J. P. M. Woudenberg. Het verband tussen het weer en de opbrengst van wintertarwe in Nederland. — The correlation between weather and yield of wheat in the Netherlands. 1946. (43 blz. met 6 fig.)	0,70
51. S. W. Visser. Weersverwachtingen op langen termijn in Nederland. — Long range weather forecasts in the Netherlands. 1946. (143 blz. met 25 fig.)	2,05
52. R. J. v. d. Linde en J. P. M. Woudenberg. Een methode ter bepaling van de breedte van een schaduw in verband met den tijd van een jaar en de oriëntatie van het beschaduwde object. — A method for determining the daily variation in width of a shadow in connection with the time of the year and the orientation of the overshadowing object. 1946. (6 blz. met 2 fig. en 2 kaarten)	0,40
53. A. Labrijn. Het klimaat van Nederland. Temperatuur, neerslag en wind. — The climate of the Netherlands. Temperature, precipitations and wind. 1946. (71 blz. met 1 kaart)	2,50
54. C. Kramer. Electriche ladingen aan berijpte oppervlakten. — Electric charges on rime-covered surfaces. 1948. (128 blz. met 17 fig. en 1 afb.)	3,00
55. J. J. Post. Statistisch onderzoek naar de samenhang tussen het weer, de grasproductie en de melkaanvoer. — Statistical research on the correlation between the weather, grass production and milk supply. 1949. (119 blz. met 25 fig. en 6 tab.)	3,00
56. R. J. v. d. Linde and J. P. M. Woudenberg. On the microclimatic properties of sheltered areas. The oak-coppice sheltered area. — Over de microklimatologische eigenschappen van beschutte gebieden. Het landschap met eikenhakhoutwallen. 1950. (151 blz. met 52 fig.)	3,00
57. C. Kramer, J. J. Post en W. Wilten. Klimaat en brouwgerstteelt in Nederland. — Climate and growing of malting-barley in the Netherlands. 1952. (149 blz. met 27 fig.)	2,25
58. W. van der Bijl. Toepassing van statistische methoden in de klimatologie. — Applications of statistical methods in climatology. 1952. (197 blz. met 19 fig.)	7,60
59. Tien wetenschappelijke bijdragen, uitgeg. bij het 100-jarig bestaan van het K.N.M.I. — English summary. 1954. (198 blz. met 53 fig.)	12,50
60. C. Kramer, J. J. Post en J. P. M. Woudenberg. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van temperatuur- en vochtigheidsbepalingen in buitenlucht met behulp van kwikthermometers. 1954. (60 blz. met 11 fig.)	3,50
61. J. A. Businger. Some aspects of the influence of the earth's surface on the atmosphere. 1954. (78 blz. met 11 fig.)	4,00
62. C. Levert. Regens. Een statistische studie. 1954. (246 blz. met 67 fig. en 143 tab.)	10,00
63. P. Groen. On the behaviour of gravity waves in a turbulent medium, with application to the decay and apparent period increase of swell	1,50
64. H. M. de Jong. Theoretical aspects of aeronavigation and its application in aviation meteorology	4,50
65. J. G. J. Scholte. On seismic waves in a spherical earth	5,—
66. G. Verploegh. The equivalent velocities for the Beaufort estimates of the wind force at sea. 1956. (38 blz. met 17 tab.)	1,75

67. G. Verploegh. Klimatologische gegevens van de Nederlandse lichtscheepen over de periode 1910—1940. Dl. I: Stormstatistieken. — Climatological data of the Netherlands light-vessels over the period 1910—1940. P.I: Statistics of gales. 1956. (68 blz. met tabellen.)	3,50
68. F. H. Schmidt. On the diffusion of stack gases in the atmosphere. 1957. (60 blz., 12 fign. en tabn.)	5,—
69. H. P. Berlage. Fluctuations of the general atmospheric circulation of more than one year; their nature and prognostic value. 1957	7,50

Kon.

.....

