

MEDEDELINGEN EN VERHANDELINGEN

60

DR C. KRAMER, DR IR J. J. POST EN

DR J. P. M. WOUDENBERG

**NAUWKEURIGHEID EN BETROUWBAARHEID
VAN TEMPERATUUR- EN
VOCHTIGHEIDSBEPALINGEN IN BUITENLUCHT
MET BEHULP VAN
KWIKTHERMOMETERS**

**PRECISION AND RELIABILITY OF OPEN-AIR TEMPERATURE
AND HUMIDITY MEASUREMENTS WITH
MERCURY THERMOMETERS**

1954



F 3.50

NAUWKEURIGHEID EN BETROUWBAARHEID VAN
TEMPERATUUR- EN VOCHTIGHEIDSBEPALINGEN IN BUITENLUCHT
MET BEHULP VAN KWIKTHERMOMETERS

INDEX DECIMALIS

551 . 524 . 35 :

551 . 571 . 35 :

551 . 508 . 26

NAUWKEURIGHEID EN BETROUWBAARHEID
VAN TEMPERATUUR- EN
VOCHTIGHEIDSBEPALINGEN IN BUITENLUCHT
MET BEHULP VAN
KWIKTHERMOMETERS

*Precision and reliability of
open-air temperature and humidity measurements with
mercury thermometers*

DR C. KRAMER, DR IR J. J. POST EN

DR J. P. M. WOUDENBERG

1954



STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF / 'S-GRAVENHAGE

INHOUD

	pag.
INLEIDING	7
HOOFDSTUK I. VERGELIJKENDE METINGEN TUSSEN THERMOMETERS IN TWEE TYPEN VAN THERMOMETERHUTTEN EN DE DROGE-BOLTHERMOMETER VAN EEN ASSMANN-PSYCHROMETER.	13
§ 1. De kleine thermometerhut voor micro-klimatologische metingen	13
§ 2. Uitkomsten van de vergelijkende metingen tussen thermometers in kleine en grote hut	14
§ 3. Vergelijking van de thermometer in de kleine hut met de droge- bolthermometer van een psychrometer volgens ASSMANN.	23
HOOFDSTUK II. ONDERLINGE VERGELIJKING VAN DIVERSE TYPEN VAN KLEINE HUTTEN	24
HOOFDSTUK III. NADER ONDERZOEK NAAR HET GEDRAG VAN GEVENTILEERDE PSYCHROMETERS	29
§ 1. Factoren die de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de vochtigheidsbepalingen beïnvloeden.	29
§ 2. De invloed van de toestand van het instrument en de invloed van de omgeving (stralingstoestand) op de aanwijzing van de psychrometer	31
§ 3. De invloed van de methode volgens welke de waarnemingen wor- den verricht	38
§ 4. De invloed van de „persoonlijke fout” van de waarnemer	43
§ 5. De psychrometerformule en de psychrometertabellen	45
§ 6. De invloed van de berekeningsmethode	51
SAMENVATTING	53
SUMMARY	56
LITERATUURLIJST	59

INLEIDING

Bij het meten van de temperatuur van een lichaam met behulp van een *thermometer* gaat men als volgt te werk:

Men brengt met het lichaam waarvan de temperatuur gemeten moet worden een meetinstrument – de thermometer – in contact, waarvan een of andere meetbare grootte (bijv. een volume, een elektrische weerstand, een spanningsverschil) eenduidig met de temperatuur varieert. Na korter of langer tijd ontstaat er een „temperatuurevenwicht” tussen de thermometer en het lichaam, hetgeen blijkt uit het feit dat de waarde van de meetbare grootte betrekkelijk constant blijft in de tijd; men zegt dan, dat *deze* waarde van de meetbare grootte de temperatuur van het lichaam aanduidt.

Verschillende bezwaren zijn aan deze methode inhaerent; wij willen er slechts enkele noemen, die speciaal van belang zijn bij de temperatuurmetingen die wij hier op 't oog hebben, namelijk de nauwkeurige bepalingen van de temperatuur van de buitenlucht.

In de eerste plaats *verstoort* de ingebrachte vreemde massa (de thermometer) de thermische situatie van het te meten lichaam. Om deze storing zo gering mogelijk te maken verdient een thermometer met kleine warmtecapaciteit de voorkeur.

Vervolgens wordt het *thermisch evenwicht* theoretisch pas na oneindig lange tijd bereikt. Het is zaak de warmteoverdracht zo goed mogelijk te maken, opdat binnen een kort tijdsverloop het evenwicht voldoende benaderd wordt. Ook is er een grens aan de *snelheid* waarmee de thermometer reageert, m.a.w. we hebben steeds te maken met een *integratie* van de temperatuur over een eindige tijd.

Bovendien kan men, speciaal bij temperatuurmetingen in gassen, waarin de warmteoverdracht door geleiding gering is, niet zonder meer zeggen dat de temperatuur van de thermometer gelijk is aan de temperatuur van het gas, omdat aan het grensvlak tussen het gas en het temperatuurgevoelige element grenslaagverschijnselen een rol spelen, die in het bijzonder door de *straling* sterk beïnvloed worden.

Aan het verrichten van temperatuur- en van vochtigheidsmetingen in buitenlucht met behulp van kwikthermometers en -psychrometers zijn dus zekere moeilijkheden verbonden, die fouten kunnen veroorzaken, welke de waarde van de resultaten van bepaalde onderzoeken, vooral bij detailstudies, sterk kunnen beïnvloeden.

De belangrijkste factoren, die van invloed zijn op de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van dergelijke metingen, zijn de volgende:

1. De directe en gereflecteerde straling,
2. Snelheid en amplitude van de fluctuaties in temperatuur en vochtigheid van de lucht,
3. De aard van het meetinstrument,
4. De geoefendheid en de werkwijze van de waarnemer.

In het hier volgende willen wij over enige van deze factoren enkele algemene opmerkingen maken, die in de volgende hoofdstukken zullen worden toegelicht met numerieke voorbeelden, ontleend aan onze eigen metingen.

ad 1. Teneinde de invloed van de straling zoveel mogelijk uit te schakelen, wordt bij metingen voor klimatologische doeleinden een z.g. *thermometerhut* gebruikt. Hiervan zijn in de diverse landen allerlei typen in gebruik, die echter alle zijn te beschouwen als modificaties van het oorspronkelijk door STEVENSON voorgestelde model. [Als „*hut*” wordt in deze publicatie aangeduid iedere constructie die hetzij om de gehele thermometer, hetzij om het temperatuurgevoelige element daarvan wordt aangebracht met het doel, de invloed van de straling te reduceren.] Uit verschillende onderzoeken (1, 2, 3, 4, 5) is wel komen vast te staan, dat de temperatuur, gemeten in deze hutten, belangrijk kan afwijken van de temperatuur in de onmiddellijke omgeving van de hut. Voorts is het model van de gebruikte hut van invloed op de grootte van deze afwijking. Reeds in 1883 rapporteerde MAWLEY (6) over vergelijkende metingen met twee typen van Stevenson-hutten. Bij het ene model waren de jalouzieën aan elkander bevestigd, bij het andere waren ze van elkaar gescheiden door een luchtspleet, zodat ventilatie in verticale richting tussen de jalouzieën mogelijk was. Nadien zijn in verschillende landen nadere metingen uitgevoerd met verbeterde uitvoeringen van de Stevenson-hut, o.m. door LANGLO (7, 8). Bij deze latere metingen werd veelal de psychrometer volgens ASSMANN als vergelijkingsobject gebruikt. Men verkeerde namelijk in de mening, dat de droge-bolthermometer van een dergelijke psychrometer de „ware luchttemperatuur” aangeeft. Door LANGLO (7) is gewezen op het onjuiste van deze veronderstelling.

ad 2. Bovendien heeft LANGLO rekening trachten te houden met het feit, dat als gevolg van de ventilatie de thermometer in de psychrometer aan snellere temperatuurschommelingen onderhevig is dan de thermometer in de hut. [Bij recente metingen van ROBINSON in Kew met behulp van zeer snelle en gevoelige elektrische thermometers werd overtuigend aangetoond, dat er tengevolge van microturbulente zeer snelle fluctuaties in de luchttemperatuur kunnen optreden, die van de orde van enkele graden C kunnen zijn en waarvan de frequentie groter dan 2/sec kan zijn.] LANGLO trachtte dit onderscheid te verfeenen door de stand van de thermometer in de hut te vergelijken met het *gemiddelde van een tiental aflezingen* van de aspirator-thermometer. (Voor de bezwaren tegen deze methode zie Hoofdstuk III).

De resultaten van alle genoemde onderzoeken komen hierin overeen, dat *onderlinge verschillen van de orde van enige tiendedelen van graden C of meer mogelijk zijn, vooral in de zomer en dan in 't bijzonder tijdens de middaguren* (9, 10, 11, 12).

Bij de metingen van LANGLO bedroeg bijvoorbeeld voor de 19^h-waarnemingen in de maand *Augustus* het gemiddelde verschil psychrometer minus hut bij het hiervoor genoemde model *zonder* ventilatiespleet — 0°,73, van het model *met* ventilatiespleet tussen de jalouzieën — 0°,39. Dit wijst dus op de mogelijkheid van tamelijk aanzienlijke verschillen als gevolg van het gebruik van verschillende hut-typen. [De standaardfout $\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})^2}{n-1}}$ bedroeg voor deze maand bij 20 waarnemingen voor het eerste model $\pm 0^\circ,5C$, voor het tweede model $\pm 0^\circ,3C$; de standaardafwijking in de bepaling van de gemiddelde maandtemperatuur die bij beide modellen te verwachten is $\left(\pm \frac{\varepsilon}{\sqrt{n}}\right)$ bedroeg dus ongeveer 0°,1 resp 0°,07 C].

De verschillen tussen de diverse hut-typen zouden dan het grootst zijn bij *zonlig en windstil weer*. De hut vormt met de zich daarin bevindende lucht een uit thermisch oogpunt vrij trage massa, die de temperatuurschommelingen van de buitenlucht slechts langzaam volgt. Vooral bij geringe windsnelheid wordt de ventilatie van de hut belemmerd door de betrekkelijk grote weerstand van de jalouzieën.

Hier komt nog bij, dat de op de hut vallende straling lang niet voor 100% wordt gereflecteerd. Door vervuiling en verwerking kan het reflecterend vermogen van de verf al spoedig tot ca 40% teruglopen. Bij sterke bestraling kan de absorptie dus zeer groot zijn, met als gevolg een te hoge aanwijzing van de thermometers in de hut. Bij krachtige wind echter zal de ventilatie wel voldoende zijn om de verwarmende invloed van de straling te niet te doen.

Treden dus op de *normale klimatologische waarnemingshoogte van ca 2 meter* reeds flinke afwijkingen op, in de *onderste* luchtlaag (micro-klimatologische metingen) zullen deze zeker niet geringer zijn! De fluctuaties van de temperatuur naar plaats en tijd zijn hier immers in het algemeen groter (afhankelijk van begroeiing en grondsoort) en de windsterkte is geringer.

GEIGER en SCHMIDT (13) baseren hun onderscheiding tussen „micro“- en „meso“-klimaat zelfs op de bruikbaarheid van verschillende apparaturen voor het meten van de temperatuur. Op de juistheid van hun onderscheiding gaan we hier niet verder in. Een scherp gedefinieerde betekenis wordt door ons aan de termen „micro“- en „meso“-klimaat niet toegekend. Een *essentiële* betekenis komt aan deze termen niet toe.

Vanwege zijn grote massa, waardoor het microklimaat in de onderste luchtlaag gestoord wordt, is de grote Stevenson-hut voor microklimatologische metingen niet geschikt. Wij zullen dus op een andere apparatuur moeten overgaan.

ad 3. Microklimatologische temperatuurmetingen kunnen in het algemeen het best worden uitgevoerd met behulp van *electrische thermometers*, en wel om de volgende redenen:

Ten eerste bezitten deze thermometers een zeer geringe warmte-capaciteit, zodat ze ook zeer snelle temperatuur-fluctuaties nog voldoende kunnen volgen; ten tweede kan het aflees- of registreerinstrument op enige afstand van het meet-element worden opgesteld, zodat de waarnemer tijdens de metingen niet in de nabijheid van het meetpunt behoeft te komen en daardoor de situatie niet verstoort, wat vooral bij *metingen tussen gewassen* van groot belang is; ten slotte kunnen ze op betrekkelijk eenvoudige wijze registrerend worden gemaakt.

De *electrische weerstandsthermometer* met name is wel uitermate geschikt voor détail- en micro-klimatologische onderzoekingen (een zeer belangrijke ondergroep wordt gevormd door de weerstandsthermometer met negatieve temperatuurcoëfficiënt), hoewel ook het *thermo-element* in de practijk herhaaldelijk met goede resultaten toegepast wordt, speciaal voor metingen in zéér kleine omgevingen.

Het probleem van de bepaling van de *luchtvochtigheid* langs electrische weg schijnt echter, voor zover wij dit kunnen beoordelen, nog niet geheel tot volle tevredenheid opgelost. Er worden in Amerika en Engeland apparaten in de handel gebracht welke berusten op de invloed, die het vochtgehalte van de lucht uitoefent op de electrische weerstand van lithiumchloride. Een dergelijk apparaat, het z.g. *Gregory-element*, is op het K.N.M.I. in onderzoek, met tot dusver gunstig resultaat. Nadat het ongeveer een jaar lang in een hygrostaat beurtelings aan extreem hoge en lage vochtigheden blootgesteld was geweest en hierbij geregeld met behulp van droge- en natte bolthermometers was gecontroleerd, bleek de ijking binnen de meetnauwkeurigheid van ca 2% ongewijzigd. Hieruit kan echter niet zonder meer geconcludeerd worden, hoe het apparaat zich zal houden in lucht, die in meerdere of mindere mate door stof- en zoutdeeltjes e.d. is verontreinigd; in het bijzonder zou dus nog een aanvullende aparte beproeving in de *buitenlucht* nodig zijn.

Een nieuwer apparaat, dat ten aanzien van constantheid en nauwkeurigheid nog hogere verwachtingen wettigt, is de z.g. *Dew-cell*. Deze is gedurende nog langere tijd in de hygrostaat beproefd met uitstekend resultaat. Het meet-element bestaat hier uit een holle cylinder, gewikkeld in een lapje van glaswol dat gedrenkt is in een lithiumchloride-oplossing. Hieromheen zijn twee spiralen van zilverdraad gewonden, waartussen een wisselspanning van 10 tot 30 V wordt onderhouden. De zoutoplossing in het lapje geleidt de stroom, hierdoor wordt het cylindertje warm. Door de warmte verdampt het water uit de oplossing, de stroomgeleiding neemt dus af, dus ook de verwarming neemt af, waardoor de verdamping minder wordt, etc. Vrij spoedig stelt zich een evenwicht in, waarbij het cylindertje een scherp bepaalde *temperatuur* aanneemt.

Dit evenwicht, en dus de temperatuur, wordt nu bepaald door de *waterdampspanning* van de atmosfeer (dus door het *dauwpunt*). De evenwichtstemperatuur kan gemeten worden met een thermo-element of een weerstandthermometer in het holle cylindertje. Het principiële verschil met het Gregory-element bestaat dus hierin, dat bij dit laatste een elektrische weerstand wordt gemeten en bij de Dew-cell een temperatuur.

Sommige onderzoekers passen bij microklimatologische luchtvochtigheidsbepalingen het „natte-bol-principe” toe op thermo-elementen. Van recente datum is een door DE WIT (Laboratorium voor Natuur- en Weerkunde te Wageningen) ontworpen *vibratie-hygrometer*, waarbij het probleem van de aspiratie op zeer originele wijze werd opgelost, door de thermokoppels met behulp van een soort interruptor vibrerend te maken. De snelle vibraties van kleine amplitude (40 Hz, 1,5 cm) veroorzaken geen noemenswaardige verstoring van het temperatuur- en vochtigheidsprofiel en veroorloven dus een bepaling van de luchtvochtigheid in zeer kleine omgevingen, waarbij niettemin door de trilling de vorming van een, de verdamping verhinderende, laag van met waterdamp verzadigde lucht rondom het contactpunt wordt voorkomen en de stralingsfouten worden vermeden (18).

Voor *veldwerk* hebben elektrische instrumenten het praktische bezwaar, dat ze een vrij omvangrijke, dus *kostbare*, en vaak zeer gevoelige apparatuur vereisen en bovendien meestal afhankelijk zijn van de aanwezigheid van netspanning of althans van een spanningsbron. In elk geval zullen dus de *kwikthermometer* en de *Assmann-psychrometer* voorlopig nog wel een belangrijke plaats blijven innemen bij de bepaling van de temperatuur en de luchtvochtigheid. Het bezwaar, dat aan het gebruik van deze instrumenten verbonden is, vooral bij metingen tussen gewassen, is, dat bij de „normale” wijze van waarnemen de waarnemer door zijn aanwezigheid de omstandigheden sterk verstoort.

De normale geventileerde Assmann-psychrometer is voor microklimatologische vochtgehaltebepalingen feitelijk ten enen male ongeschikt, aangezien de voor de ventilatie gebruikte lucht uit een betrekkelijk ruime omgeving wordt aangezogen. Voor de bepaling van de luchtvochtigheidsgradiënt over dunne luchtlagen moet men dus naar een andere methode omzien (wellicht biedt de hiervoor vermelde constructie van DE WIT voor dit geval een oplossing). Vat men echter het begrip „microklimaat” wat ruimer op (zoals vaak vooral in oudere publicaties het geval is) en rekent men er ook toe z.g. oecoklimatologische metingen en b.v. metingen t.b.v. het windschermenprobleem, dan blijft er voor de Assmann-psychrometer een toepassingsmogelijkheid bestaan.

Teneinde aan het dus vooralsnog onvermijdelijke werken met kwikthermometers bij micro-klimatologische onderzoekingen een zo goed mogelijk resultaat te verzekeren, hebben wij aanvankelijk een *klein model hut* ontworpen, waarbij de bezwaren van de grote hut zo veel mogelijk worden ondervangen.

Een tijdlang zijn vergelijkende metingen verricht met de thermometer in de kleine hut, die in een grote hut en de droge-bolthermometer van een Assmann-psychrometer. De uitkomsten van deze metingen worden in Hoofdstuk I beschreven.

Later zijn we door de eisen van de practijk gekomen tot het ontwerpen van verschillende typen van kleine hutten. Een onderlinge vergelijking van deze hutjes wordt beschreven in Hoofdstuk II.

Tijdens de metingen beschreven in Hoofdstuk I, waarbij we verschillende Assmann-psychrometers gebruikt hebben, bleken deze *onderling* afwijkingen te vertonen. Dit noopte ons, deze instrumenten aan een nader onderzoek te onderwerpen, beschreven in Hoofdstuk III.

ad 4. In dit zelfde Hoofdstuk wordt verder beschreven de invloed van de aanwezigheid van een waarnemer op de aanwijzing van de psychrometer, alsmede de nauwkeurigheid die met psychrometeraflezingen bereikt kan worden in de bepaling van de relatieve vochtigheid, in verband met de eigenschappen der psychrometertabellen en de gevolgde methode van berekening.

HOOFDSTUK I

VERGELIJKENDE METINGEN TUSSEN THERMOMETERS IN TWEE TYPEN VAN THERMOMETERHUTTEN EN DE DROGE- BOLTHERMOMETER VAN EEN ASSMANN-PSYCHROMETER

§ 1. DE KLEINE THERMOMETERHUT VOOR MICRO-KLIMATOLOGISCHE METINGEN

Zoals in het voorafgaande reeds werd opgemerkt, was de grondgedachte, die bij het ontwerpen van het kleine model hut voorzat, het bezwaar van de te grote massa van de Stevenson-hut te ondervangen en een hut te verkrijgen, die ook voor micro-klimatologische onderzoeken te gebruiken zou zijn.

Het eerste ontwerp was dat van een *enkelwandig metalen hutje* ter grootte van $6 \times 6 \times 7$ cm, waarbij in de zijwanden een viertal jalouzie-spleten waren aangebracht. Het hutje omsluit alleen het kwikreservoir van de thermometer, de schaal steekt er boven uit. Ventilatie in verticale richting werd mogelijk gemaakt door het aanbrengen van een opening in de bodem, en door de opening in het dak iets groter te nemen dan voor het doorlaten van de thermometer nodig is. Het geheel werd ter wering van stralingsinvloeden aan buiten- en binnenkant wit gelakt. Dit bleek echter niet afdoende; al spoedig werd waargenomen dat vooral bij felle zonneschijn grote verschillen optraden tussen de aanwijzing van de thermometer in het hutje en de temperatuur er buiten. Dit is ook wel te begrijpen, waar de witte verflaag, vooral na een reeds vrij spoedig optredende vergeling, de opvallende straling lang niet voor 100% reflecteert. Daar het metaal, waaruit het hutje vervaardigd was, de warmte goed geleidt, wordt er nog al wat warmte van de binnenwand naar de thermometerbol gestraald.

Ook het tweede type: een iets groter metalen hutje met *dubbele wanden* en schubvormig dak, gaf in dit opzicht geen beter resultaat.

Tenslotte werd daarom overgegaan op een derde type: een dubbelwandig hutje van een wit *kunsthars-materiaal*: vinydur. Dit materiaal heeft betere reflecterende en isolerende eigenschappen en heeft verder boven metaal nog het voordeel van een geringer gewicht, wat van belang kan zijn bij het ophangen aan dunne takken e.d.

Daar bovendien de mogelijkheid van vochtigheidsbepalingen met een nattenbol-thermometer onder het oog werd gezien, werd nog een variant op dit type ontworpen, waar twee thermometers in passen. De afmetingen bedroegen $12,5 \times 12,5 \times 15$ cm (fig. 1).

In het tijdvak October 1945 tot en met April 1947, dus gedurende 20 maanden, zijn vergelijkende temperatuurwaarnemingen verricht tussen thermometers in dit laatstgenoemde model en in een grote hut en de droge-bolthermometer van een Assmann-psychrometer. De hier bedoelde „grote hut” stond op het waarnemingsterrein van het K.N.M.I. en werd gebruikt bij de uurwaarnemingen. Een afbeelding ervan geeft fig. 2. [In deze hut en een normale Stevenson-hut die er vlak bij geplaatst was, zijn gedurende een periode van enkele jaren dagelijks vergelijkende metingen verricht, die als resultaat hebben opgeleverd, dat beide hutten zeer goed overeenkomen ten aanzien van de gemiddelde overdag-temperatuur (gem. verschil over 9 maanden $0^{\circ},005$, uitersten $+0^{\circ},4$, $-0^{\circ},2$) en dat slechts de extremen bij de Stevenson-hut iets minder geprononceerd zijn].

De waarnemingen ter vergelijking van grote en kleine hut en Assmann-thermometer vonden behoudens enkele onderbrekingen gedurende de genoemde periode drie maal daags plaats, nl. om 8^h, 11^h en 14^h A.T. Des Zondags werd niet waargenomen; des Zaterdags verviel de 14^h-waarneming.

§ 2. UITKOMSTEN VAN DE VERGELIJKENDE METINGEN TUSSEN THERMOMETERS IN KLEINE EN GROTE HUT

Uit de gelijktijdige temperatuurwaarnemingen in beide bovengenoemde hutten en op de Assmann-thermometer werden, voor elk der 3 waarnemings-tijden apart, decadegemiddelden bepaald. De totale waarnemingsperiode bedroeg 20 maanden; men zou op deze wijze dus hoogstens kunnen komen tot een aantal van $20 \times 3 \times 3 = 180$ decade-cijfers voor elk der thermometers.

Daar zoals gezegd is op Zondag en op Zaterdagmiddag niet werd afgelezen, zijn vrijwel al deze gemiddelden uit minder dan 10 getallen afgeleid. Door allerlei omstandigheden varieert het aantal vergelijkbare waarnemingen per decade van 2 tot 10. We hebben de decadegemiddelden, welke uit minder dan 4 getallen zijn verkregen, evenwel *niet* in de berekening opgenomen, op grond van de overweging, dat het gemiddelde uit een zeer korte reeks te sterk beïnvloed wordt door een „toevallige” afwijking in één der componenten van de reeks.

Na deze schifting zijn 155 bruikbare paren decadegemiddelden overgebleven.

We willen de aanwijzing van de thermometer in de kleine hut *direct* vergelijken met de aflezingen zowel van de Assmann-thermometer als van de thermometer in de grote hut. Daarom zijn we uitgegaan van de temperatuur, afgelezen in de kleine hut.

In tabel I worden opgegeven de decadegemiddelden van de temperaturen, afgelezen in de kleine hut. Daarnaast vindt men de afwijkingen die de overeenkomstige gemiddelden voor de grote hut vertonen ten opzichte van de eerstgenoemde, en tenslotte de afwijkingen in de overeenkomstige gemiddelden van de droge-bolthermometer, eveneens ten opzichte van de kleine hut.

FIG. 1. De kleine vinydur-hut voor 1 thermometer (links) en het eerste kleine enkelwandige metalen model



FIG. 1. The small plastic (vinydur) screen (for one thermometer) and the original smaller metal type with single louvres

FIG. 2. De grote klimatologische hut, met rechts er achter een normale STEVENSON-hut. (De paal op de voorgrond draagt een klein afschermstatief, waarvan het type in hfdst. II wordt besproken)



FIG. 2. *Big screen for climatological measurements: behind it a normal STEVENSON-screen, on the foreground a small screen (mentioned in Ch. II) placed on a pole*

TABLE I. Overzicht vergelijking van kleine hut met grote hut en droge-bolthermometer van een ASSMANN-psychrometer

Maand	Decade	8 ^h .00			11 ^h .00			14 ^h .00			
		Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C		Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C		Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C		
			Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut		Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut		Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut	
October	'45 I	10,3	0,15	0,25	—	14,3	—0,10	—0,17	15,1	0,30	0,13
	II	9,4	0,16	0,35	—	13,4	0,02	—0,05	14,1	0,37	0,20
	III	10,6	0,30	0,34	—	13,8	0,05	0,12	15,3	0,20	0,15
November	'45 I	7,3	0,42	0,48	—	9,3	0,05	0,15	10,0	0,11	0,11
	II	1,6	0,20	0,37	—	2,2	0,10	0,19	3,6	0,14	0,28
	III	2,0	0,25	0,37	—	3,5	0,18	0,40	4,6	0,17	0,39
December	'45 I	—0,4	0,73	0,68	—	2,7	0,19	0,34	2,3	0,17	0,17
	II	3,8	0,46	0,55	—	5,3	0,26	0,44	8,1	0,26	0,38
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Januari	'46 I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	—3,0	0,33	0,39	—	—0,7	0,26	0,26	—0,5	0,10	0,22
	III	3,3	0,26	0,33	—	0,8	0,13	0,28	1,7	0,16	0,27
Februari	'46 I	5,9	0,22	0,37	—	6,9	0,18	0,40	8,5	0,10	0,25
	II	3,6	0,42	0,52	—	6,0	0,14	0,33	6,8	0,15	0,30
	III	—3,0	0,08	0,04	—	0,8	0,10	—0,02	2,6	0,28	—0,02

TABLE I. Comparison of 10-day-means of temperature measured in a small screen, in a normal screen and with the dry-bulb thermometer of an ASSMANN-psychrometer

TABEL I (vervolg)

Maand	Decade	8 ^h .00				11 ^h .00				14 ^h .00			
		Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C			Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C			Gemiddelde temperatuur in kleine hut in °C	Verschil der gemiddelden in °C		
			Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut			Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut			Grote hut minus kleine hut	ASSMANN- thermo- meter minus kleine hut	
Maart	'46	I	—1,0	0,12	0,24	—0,1	0,00	0,07	0,7	0,10	0,10	0,10	0,10
		II	2,0	0,06	0,18	4,9	0,05	0,12	7,1	0,07	0,10	0,10	0,10
		III	7,0	0,12	0,25	11,7	0,02	0,00	13,8	0,08	0,10	—0,10	—0,10
April	'46	I	9,2	—0,23	—0,03	15,5	—0,33	—0,44	18,6	0,08	0,08	—0,27	—0,27
		II	10,6	—0,35	—0,20	13,8	—0,07	—0,47	15,8	0,02	0,02	—0,24	—0,24
		III	11,5	—0,13	—0,02	15,2	0,08	—0,02	16,0	0,22	0,22	0,05	0,05
Mei	'46	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		III	15,2	—0,01	0,11	17,7	—0,11	0,05	18,4	0,06	0,06	0,06	0,06
Juni	'46	I	13,6	0,10	0,38	16,5	0,03	0,43	18,2	0,23	0,23	0,25	0,25
		II	13,9	0,15	0,45	14,7	0,02	0,25	15,9	0,17	0,17	0,21	0,21
		III	15,0	0,09	0,32	17,0	0,13	0,01	18,6	—0,05	—0,05	0,22	0,22
Juli	'46	I	18,0	0,08	0,18	21,1	0,00	—0,07	24,1	0,07	0,07	—0,38	—0,38
		II	16,6	0,02	0,25	19,8	0,03	0,05	20,2	0,12	0,12	—0,18	—0,18
		III	16,9	0,16	0,33	18,3	0,31	0,41	20,3	0,20	0,20	0,14	0,14
Augustus	'46	I	17,0	—0,12	0,08	19,1	0,05	—0,32	2,02	0,10	0,10	—0,05	—0,05
		II	13,6	0,45	0,70	15,8	0,41	0,47	18,1	0,38	0,38	0,16	0,16
		III	14,0	0,16	0,46	16,6	0,17	0,20	17,5	—0,04	—0,04	—0,06	—0,06

Zowel bij de grote hut als bij de psychrometer komen positieve zowel als negatieve afwijkingen ten opzichte van de kleine hut voor. De schalen van de gebruikte thermometers waren verdeeld in vijfde delen van graden C; bij de aflezing werd geschat in tiende delen. Alle gebruikte thermometers werden regelmatig geijkt. Er is uiteraard rekening te houden met een verschil in *traagheid* tussen een Assmann-thermometer en een normale stationsthermometer zoals in de hut werd gebruikt; dit kan bij de incidentele waarnemingen verschillen veroorzaken, die echter bij middelen over een voldoende groot aantal waarnemingen tegen elkaar weg zullen vallen. Dat bovendien teken en grootte der verschillen niet significant beïnvloed worden door het uur van de dag, dus door de richting van de normale temperatuurverandering met de tijd (zoals in het hier volgende wordt aangetoond, vgl. tabel III), wijst er ook op, dat de traagheidsverschillen niet in systematische verschillen in aanwijzing tot uiting komen.

Een beeld van de frequentieverdeling der afwijkingen naar grootteklassen van $0^{\circ},1$ C geven de grafieken fig. 3.

FIG. 3. Frequentieverdeling van de 155 decadegemiddelden der verschillen: kleine hut minus grote hut (links), resp. kleine hut minus ASSMANN-thermometer (rechts), naar grootteklassen van $0^{\circ},10$ C

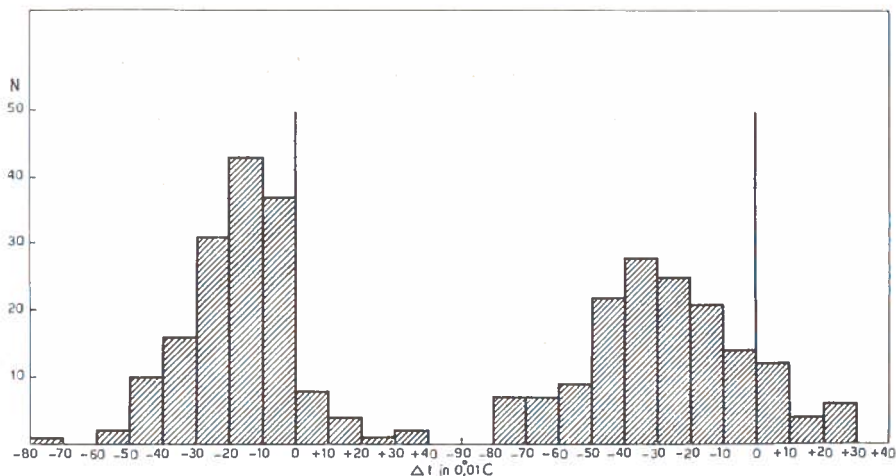


FIG. 3. Frequency-diagrams of 155 ten-day-means of differences of temperatures between the small and the big screen (left) respectively the small screen and the dry-bulb thermometer of the ASSMANN-psychrometer (right)

Uit deze grafieken blijkt, dat de afwijkingen in meerderheid negatief zijn. D.w.z. in de meeste decaden wijst de thermometer in de kleine hut gemiddeld lager aan dan die in de grote, en ook dan de droge-bolthermometer!

Wij willen in de eerste plaats de verschillen tussen de aflezingen in de grote en die in de kleine hut nader beschouwen. De frequentiekromme van deze afwijkingen blijkt minder vlak te zijn dan die van de afwijkingen van de drogebolthermometer. De extremen van de decadegemiddelden van de afwijkingen „kleine hut–grote hut” bedragen $-0^{\circ},73$ (Dec. I '45, 8 h) resp. $+0^{\circ},35$ (Apr. II '46, 8 h).

De *gemiddelde* afwijking der decadegemiddelden „kleine hut–grote hut”, berekend over *alle* waarnemingen van alle drie de waarnemingstijden, bedraagt $-0^{\circ},17$ C. De standaardafwijking, uit de bovengenoemde frequentieverdeling berekend, bedraagt eveneens $\sigma=0^{\circ},17$.

In tabel II is de spreiding (σ) in de reeksen verschillen tussen de beide huttypen opgenomen voor elk der maanden en voor elk der waarnemingstijden afzonderlijk.

Tevens zijn in deze tabel opgenomen de aantallen waarnemingen (n), die in deze reeksen bevat zijn. Systematische verschillen van enig belang blijken hier

TABEL II. Standaard-afwijkingen van de reeksen van verschillen in aanwijzing tussen de thermometer in de kleine hut en die in de grote hut, berekend per maand.

Maand	8 ^h .00		11 ^h .00		14 ^h .00		σ gemiddeld
	σ	n	σ	n	σ	n	
Oct. '45	0,32	25	0,32	24	0,36	19	0,33
Nov. '45	0,22	22	0,26	21	0,18	22	0,22
Dec. '45	0,25	16	0,16	19	0,25	10	0,22
Jan. '46	0,13	16	0,16	17	0,14	13	0,14
Febr. '46	0,28	19	0,22	16	0,18	14	0,23
Mrt. '46	0,17	22	0,27	19	0,18	18	0,21
Apr. '46	0,34	17	0,29	19	0,26	17	0,30
Mei '46	0,30	15	0,48	13	0,23	11	0,34
Juni '46	0,27	20	0,34	21	0,19	17	0,27
Juli '46	0,40	24	0,33	24	0,38	20	0,37
Aug. '46	0,55	26	0,39	26	0,35	22	0,43
Sept. '46	0,34	15	0,40	18	0,38	16	0,27
Oct. '46	0,28	26	0,32	26	0,32	22	0,31
Nov. '46	0,32	22	0,28	23	0,24	19	0,28
Dec. '47	0,52	23	0,43	22	0,69	18	0,55
Jan. '47	0,36	22	0,35	22	0,22	19	0,31
Febr. '47	0,14	18	0,26	19	0,25	18	0,22
Mrt. '47	0,19	18	0,18	17	0,22	17	0,20
Apr. '47	0,26	21	0,22	21	0,20	17	0,23
gem.	0,31		0,30		0,27		

TABLE II. Standard-deviations of the series of differences between the thermometers in the small and in the big screen.

niet in voor te komen; in een enkele maand (Dec. '47) zijn de afwijkingen wat extra groot als gevolg van enkele waarnemingen waarbij bijzonder grote verschillen optraden; de oorzaak van deze grote verschillen is niet bekend.

Uit tabel I blijkt, dat de verschillen tussen kleine en grote hut het grootst zijn in het najaar en in de winter; dan is dus de temperatuur, gemeten in de grote hut, aanzienlijk hoger dan in de kleine hut. In voorjaar en zomer worden de verschillen vaak onbetekenend klein. In April 1946 is er gemiddeld een verschil in omgekeerde zin waargenomen; de oorzaak hiervan is onbekend.

Het gesignaleerde seizoeneffect in de temperatuurverschillen tussen kleine en grote hut maakt de mogelijkheid plausibel, dat er een verband gevonden zal kunnen worden tussen de grootte van het verschil en de hoogte van de *temperatuur*. Om dit na te gaan beschouwen wij afzonderlijk de verschillen, gemeten in twee temperatuurgebieden, nl. tussen -4° en $+4^{\circ}$ en tussen $+10^{\circ}$ en $+18^{\circ}$. Wij vinden dan in het gebied der *lage* temperaturen (-4° tot $+4^{\circ}$) bij een aantal van 35 bruikbare waarnemingen een gemiddeld verschil tussen kleine en grote hut van $-0^{\circ},20$ ($\sigma=0^{\circ},12$); in het gebied der *hoge* temperaturen ($+10^{\circ}$ tot $+18^{\circ}$) bij een aantal van 48 bruikbare waarnemingen een gemiddeld verschil van $-0^{\circ},14$ ($\sigma=0^{\circ},14$). Gezien de grootte van de spreidingen is hier geen sprake van een significant verschil, m.a.w. een temperatuurinvloed op het verschil tussen kleine en grote hut is uit deze waarnemingen niet te bewijzen.

Vervolgens werd getracht na te gaan of er een invloed is van de *zonnestand*, door de verschillen te vergelijken die optreden resp. bij de waarnemingen van 8^h.00, 11^h.00 en 14^h.00. Tabel III geeft de uitkomst van deze vergelijking.

TABEL III. Invloed van de tijd van de dag op de verschillen tussen kleine en grote hut.

Waarnemingstijd	Gemiddeld verschil tussen kleine en grote hut
8 ^h .00	$-0^{\circ},18$
11 ^h .00	$-0^{\circ},11$
14 ^h .00	$-0^{\circ},19$

TABLE III. Influence of the time of the day upon the differences between the small and the big screen.

Daar de standaardafwijking in het totaal der waarnemingen $0^{\circ},17$ bedraagt, is ook in dit geval aan de gevonden verschillen geen statistische betekenis toe te kennen, m.a.w. van een invloed van de zonnestand blijkt uit onze gegevens niets.

Verder werd nog nagegaan de invloed van de *zonnestraling* op het verschil in aanwijzing van de beide hutten.

Bij iedere waarneming is genoteerd, of er wèl of géén zonneschijn was tijdens de waarneming. Wij bepaalden nu voor iedere *maand* het temperatuurgemiddelde van de 8 uren-waarnemingen *met* zon en van die *zonder* zon. Evenzo voor de 11 uren- en 14 uren-waarnemingen. Wanneer in een bepaalde maand minder dan vier 8 uren-waarnemingen zonder zon of minder dan 4 met zon

waren gedaan, werden de 8 uurs-gemiddelden van die maand *beide* weggelaten; evenzo natuurlijk met de 11 uurs- en 14 uurs-waarnemingen.

Zodoende kregen wij de beschikking over 10 stel 8 uur-gemiddelden, 15 stel 11 uur-gemiddelden en 16 stel 14 uur-gemiddelden.

De *verschillen* van deze gemiddelden werden vervolgens gesommeerd en door het bijbehorende aantal maanden gedeeld. Dit leverde het volgende resultaat:

TABEL IV. Gemiddelde afwijking van de thermometerwaarnemingen in de kleine hut ten opzichte van de grote hut (in °C) resp. met en zonder zon.

	8 uur (uit 10 maandgem.)	11 uur (uit 15 maandgem.)	14 uur (uit 16 maandgem.)	gewogen gemiddelde
Met zon	+0,03	—0,08	—0,19	—0,10
Zonder zon	—0,24	—0,17	—0,22	—0,21
Vershil	0,27	0,11	0,03	0,11

TABLE IV. Influence of sunshine upon the differences between the small and the big screen.

Met inachtneming van de op grond van statistische overwegingen geboden voorzichtigheid mogen wij in deze getallen een *aanwijzing* zien, dat inderdaad de directe zonbestraling een effect kan hebben op de verschillen in temperatuur tussen kleine en grote hut. Verder blijken de verschillen tussen de waarnemingen met zon en die zonder zon bij de vroege ochtendwaarneming het grootst te zijn.

De thermometer in de grote hut wijst steeds hoger aan dan die in de kleine hut. Wij mogen dus zeggen, dat de eerstgenoemde „te hoog” aanwijst. Bij afwezigheid van directe zonbestraling is het verschil op alle waarnemingstijden gemiddeld ongeveer 0°,2 C. Bij zonneschijn reduceert het verschil zich blijkbaar enigszins, namelijk tot gemiddeld ongeveer 0°,1; de kleine hut reageert dus blijkbaar iets sterker dan de grote hut op *directe* bestraling. Dat dit in de vroege ochtenduren het sterkst uitkomt is misschien toe te schrijven aan het feit, dat dan de *windsterkte* gemiddeld het kleinst is en dus de ventilatie niet geheel voldoende.

Wij hebben tenslotte nog nagegaan de invloed van de *windkracht* op het verschil in aflezing tussen de kleine en de grote hut.

De waarnemingen werden daartoe verdeeld in 3 groepen:

- I. bij windkracht 0 of 1 (schaal van Beaufort),
- II. bij windkracht 2 of 3,
- III. bij windkracht 4 en hoger.

Steeds werd over een hele maand gesommeerd en gemiddeld, en weer apart voor de 8 uurs-, 11 uurs- en 14 uurs-waarnemingen.

Groepen die minder dan 3 waarnemingen bevatten werden weggelaten, alsook enkele groepen die klaarblijkelijk foutieve waarnemingen bevatten.

Het onderstaande resultaat werd bereikt:

TABEL V. Gemiddelde verschillen (in °C) tussen kleine en grote hut bij verschillende windsnelheden.

Tijdstip	I		II		III	
	Windkracht 0 of 1		Windkracht 2 of 3		Windkracht ≥ 4	
	Aantal maanden	Gemidd. verschil	Aantal maanden	Gemidd. verschil	Aantal maanden	Gemidd. verschil
8 ^h .00	16	—0,09	18	—0,18	12	—0,27
11 ^h .00	11	+0,02	18	—0,14	14	—0,16
14 ^h .00	6	—0,07	19	—0,24	12	—0,16
Totaal	33	—0,05	55	—0,19	38	—0,20

TABLE V. Influence of windvelocity upon the differences between the small and the big screen.

Uit de gevonden gemiddelde afwijkingen blijkt, dat bij geheel of nagenoeg windstil weer slechts zeer geringe verschillen bestaan tussen de aflezingen in de twee huttypen.

Bij hogere windsnelheden is er geen systematische invloed van de windkracht op de verschillen in aanwijzing te constateren.

CONCLUSIES

1. Gemiddeld over alle waarnemingen wijst de thermometer in de grote hut (vrijwel overeenkomend met die in een STEVENSON-hut) 0°,17 C hoger aan dan die in het beschouwde type kleine hut. De spreiding in de verschillen is echter even groot als het gevonden gemiddelde verschil.
2. De verschillen vertonen een *seizoen-effect* (zij zijn in najaar en winter groot, in voorjaar en zomer onbetekenend), dat echter *niet* kan worden verklaard als *temperatuureffect*.
3. De *zonnestand* (uur van de dag) is evenmin van invloed op het verschil in aanwijzing, althans binnen het tijdvak waarin de waarnemingen vielen (tussen 8^h.00 en 14^h.00).
4. Het verschil wordt *verkleind* bij directe *zonbestraling* en evenzo bij *zeer geringe windsnelheid*.

Een bevredigende *verklaring* van deze gang van zaken is tamelijk lastig. Wij opperen de volgende mogelijkheid, die naar onze mening nog het meest recht doet wedervaren aan de diverse aspecten van deze zaak:

De bouwwijze van de *grote hut* (tamelijk zwaar, op 4 palen geplaatst pyramidevormig dak, bestaande uit sterk overlappende delen, waartussen smalle ventilatiespleten, de thermometers dicht onder het dak, vgl. afb. 2) doet veronderstellen dat zich, onder invloed wellicht van de warmtestraling van de bodem, vlak onder het dak een luchtmassa verzamelt die iets warmer is dan de buitenlucht. Het dubbele dak verhindert waarschijnlijk het warmtetransport door uitstraling naar boven voldoende om te bewerkstelligen, dat ook des morgens vroeg nog de lucht boven in de hut iets warmer is dan de omringende lucht. De temperatuur in de *kleine hut* zal *in het algemeen* beter overeenkomen met die van de buitenlucht, doch zowel de isolatie tegen straling als de ventilatie laten iets te wensen over, zodat bij *zonnig* weer de thermometer in deze hut ook iets te hoog zal aanwijzen, en dat vooral, wanneer deze zonbestraling gepaard gaat met lage windsnelheid.

§ 3. VERGELIJKING VAN DE KLEINE HUT MET DE DROGE BOL-THERMOMETER VAN EEN PSYCHROMETER VOLGENS ASSMANN

Uit de grafiek (fig. 3) bleek reeds, dat de verschillen tussen de temperatuur-aanwijzingen in de kleine hut en die van de ASSMANN-thermometer een nog grotere spreiding vertonen dan die tussen kleine en grote hut, welke in de vorige §§ behandeld werden. Enkele oorzaken hiervoor liggen wel voor de hand. In de kleine en in de grote hut werd eenzelfde type thermometer gebruikt; de ASSMANN-thermometer wijkt hiervan af, en wel heeft deze laatste een *geringere warmtecapaciteit* en daarom een *grotere snelheid*. Bovendien zijn de ventilatie-omstandigheden geheel verschillend (er werd gebruik gemaakt van een Assmann-psychrometer met kunstmatige ventilatie). Tenslotte zijn de waarnemingen van de droge-boltemperatuur uitgevoerd zonder inachtneming van bepaalde voorzorgen ten aanzien van de beïnvloeding van de thermometer door de lichaamswarmte van de waarnemer, omdat wij ten tijde van deze proefneming nog niet voldoende van deze invloed op de hoogte waren. Veel betekenis moet er dus aan de gevonden verschillen niet gehecht worden.

De thermometer in de kleine hut wijst gemiddeld lager aan dan de Assmann-thermometer, het gemiddelde verschil bedraagt meer dan $0^{\circ},2$ C. De grootste verschillen kwamen weer voor in herfst en winter, er zijn verscheidene decade-gemiddelden bij van $0^{\circ},6$ tot $0^{\circ},8$ C.

Wij zullen in hoofdstuk III de moeilijkheden met de Assmann-psychrometer nader onder de loupe nemen en op deze plaats niet nader ingaan op de oorzaken van de gevonden verschillen tussen deze en de thermometer in de kleine hut.

HOOFDSTUK II

ONDERLINGE VERGELIJKING VAN DIVERSE TYPEN VAN KLEINE HUTTEN

Na de in Hoofdstuk I besproken kleine hutten van witgelakt metaal en van vinydur zijn nog enkele andere typen van kleine hutten ten behoeve van microklimatologische onderzoeken in gebruik gekomen. De belangrijkste voorwaarden, waaraan dergelijke hutten moeten voldoen zijn:

1. Goede ventilatie,
2. Geringe warmte-capaciteit en warmtegeleiding van het geheel,
3. De kwikbol van de thermometer(s) moet onbereikbaar zijn voor directe zonbestraling,
4. Goede reflectie van de straling.

Bijzondere moeilijkheden bij de constructie levert de combinatie van de voorwaarden 1 en 3. Omwille van de ventilatie dienen aan de zijkanten van het hutje, zowel onder als boven, vrij brede spleten te worden gelaten. Tevens dient men het geheel zo te dimensioneren, dat bij geen enkele zonnestand de kwikbol van de thermometer(s) door directe of door teruggekaatste straling wordt getroffen. Men zou dit kunnen bereiken door de dekplaat ver te laten oversteken, maar dan wordt het geheel weer groter dan wenselijk is voor microklimatologische metingen.

Men heeft een oplossing gezocht in de constructie van een cilindervormige afscherming. Het proefmodel van dit type werd vervaardigd uit een conservenblik, waarbij een gedeelte van de cylindermantel werd weggenomen, terwijl in het overblijvende gedeelte en in de bodem enkele lange spleten werden geknipt met korte dwarspleten aan de uiteinden. De op deze wijze aan 3 zijden losgeknipte stroken blik werden bij wijze van „jalouzieën” naar buiten uitgebogen. Aan de bovenzijde werd de bus nog voorzien van een dakje, bestaande uit de halve cylindermantel van een iets wijder conservenblik. De bus wordt om het temperatuurgevoelige element geplaatst met de spleetvormige opening naar beneden en de bodem naar het zuiden gericht, de noordzijde blijft geheel open. In de bovenzijde werd een gat geboord, waarin een thermometer met een kurk kon worden vastgezet. Het geheel werd wit geverfd.

Tevens werd een model vervaardigd volgens het voorbeeld van een der reeds in gebruik zijnde hutjes, waarbij enkele verbeteringen werden aangebracht (nader te noemen model G).



A

FIG. 4. Verschillende typen van afschermhutjes e
afschermingen

FIG. 4. *Different types of screens*

A. Model in gebruik bij het nachtvorstonderzoek i
boomgaarden

A. type as used for night-frost investigations in orchard

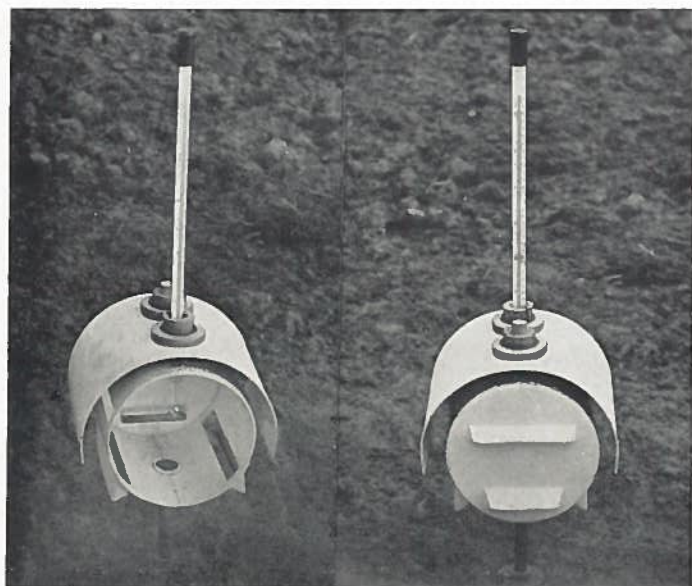
B. Cilindrisch model, van de Noord- en van de Zuid
zijde gezien (definitieve uitvoering, in vinylne)

B. cylindric type, seen from the North resp. the South.

C. Spiraalvormig model van plastic

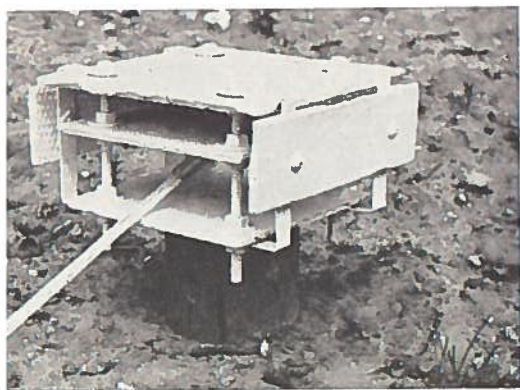
C. plastic spiral type

B



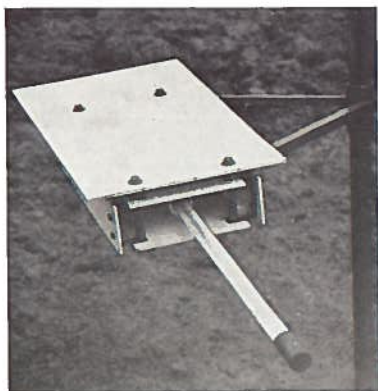
C





D

D. Model ten gebruike bij het houtwallenonderzoek
D. type used for investigations at shelter-belts



E

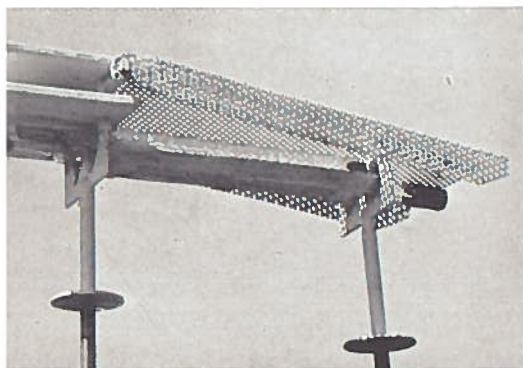
E. Model in gebruik voor afscherming van Brown-thermograaf elementen
E. type used for screening of Brown-thermograph elements

F. Model in gebruik bij de metingen van de minimum-temperatuur
F. type used for measuring minimum-temperature at

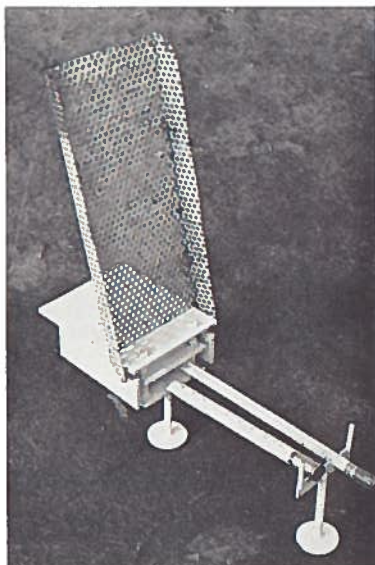
10 cm above ground-level

G. Idem met enkele wijzigingen
G. the same as F with some modifications

F



G



Om een indruk te verkrijgen van de bruikbaarheid van deze modellen werd een aantal metingen verricht, waarbij de volgende afschermhutjes werden vergeleken.

- A. Nachtvorsthut (afb. 4A).
- B. Het zojuist genoemde cilindrische model (afb. 4B).
- C. Een plastic model (spiraal-model) (afb. 4C).
- D. Een afschermhutje zoals dit door Dr v. d. LINDE van het I.T.B.O.N. werd ontworpen ten gebruike bij het houtwallenonderzoek (14), afb. 4D).
- E. Een afschermstatief dat ontworpen werd ten gebruike bij de Brown-thermograaf, afb. 4E).
- F. Een statief dat gebruikt wordt bij de metingen van de minimum-temperatuur op +10 cm (afb. 4F).
- G. Als F doch met enkele verbeteringen (afb. 4G).

De modellen A, D, E, F en G zijn volgens ongeveer hetzelfde principe gebouwd. Het kwikreservoir is omgeven door rechthoekige afschermplaatjes. Aan de bovenzijde bevinden zich twee horizontaal geplaatste schermmpjes op korte afstand boven elkaar, aan de onderzijde één plaatje, terwijl aan de Oost- en Westzijde verticale schermmpjes zijn aangebracht. Verdere bijzonderheden:

Model A: materiaal watervast triplex, wit geschilderd,
afmetingen: lengte 38 cm, breedte 35 cm en hoogte 16,5 cm.

Model D: materiaal eterniet, wit geschilderd,
afmetingen: lengte 15 cm, breedte 14 cm en hoogte 7,5 cm.

Model E: materiaal vinyline, wit,
afmetingen lengte 31 cm, breedte 17 cm en hoogte 6,5 cm.

Model F: Bij dit model ontbreken zij- en onderschermmpjes;
materiaal watervast triplex, wit geschilderd,
afmetingen lengte 12 cm, breedte 12 cm en hoogte 3 cm.

Model G: materiaal watervast triplex, wit geschilderd,
afmetingen: lengte 17 cm, breedte 14 cm en hoogte 7,5 cm.

Het plastic model (C) bestaat uit een spiraalvormig gewonden witte plastic-band ter breedte van 2 cm, dikte 5 mm. Aan de bovenzijde is dit model afgesloten door een geperforeerde plastic plaat, waarboven nog een schijf plastic, waarin de thermometer zo bevestigd wordt, dat de kwikbol door de spiraal omsloten wordt. Afmetingen: doorsnede $10\frac{1}{2}$ cm, hoogte $10\frac{1}{2}$ cm.

De afmetingen van het reeds eerder beschreven model B bedragen: hoogte 18 cm, doorsnede $16\frac{1}{2}$ cm.

FIG. 5, 6. Grafieken van het resultaat van de vergelijking van verschillende typen van afschermingen.

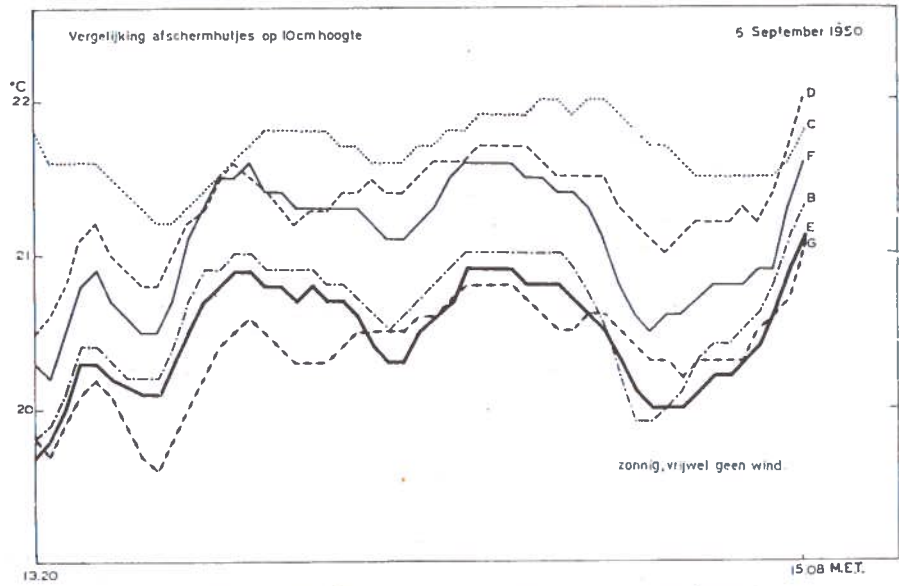
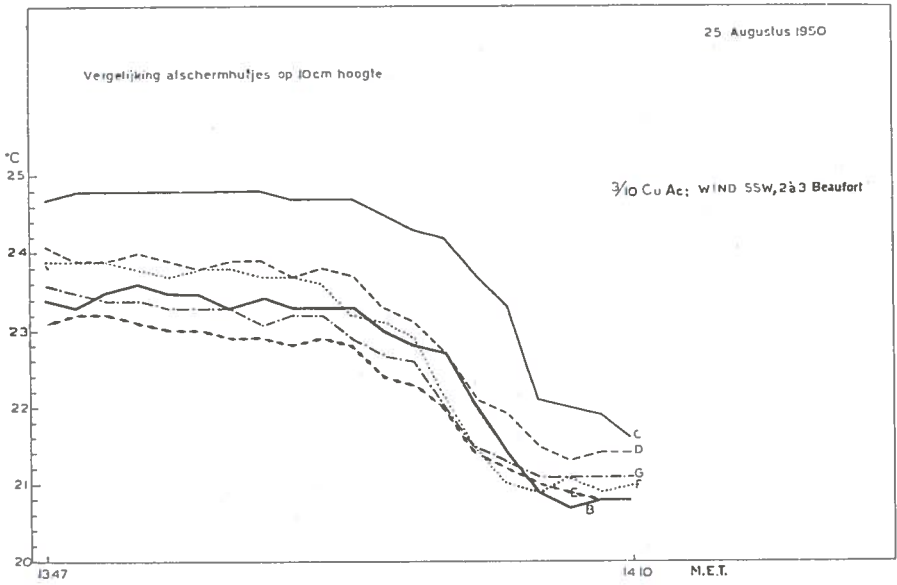


FIG. 5, 6. Simultaneous readings of temperature in various types of screens

De metingen werden verricht bij zonnig weer, het resultaat is in een aantal grafieken afgebeeld. (Zie fig. 5, 6). De metingen werden uitgevoerd op verschillende hoogten nl. 150, 75 en 10 cm boven de grond.

De thermometers in de hutjes werden gedurende een korte periode doorlopend in dezelfde volgorde afgelezen. Hier volgt een korte omschrijving der meetresultaten.

I. Metingen op 1,50 m hoogte

Vergeleken werden de modellen A, B, C en D.

A en B blijken goed vergelijkbaar te zijn, de afwijkingen blijven beneden $0^{\circ},5C$, meestal is het verschil niet groter dan $0^{\circ},2C$, waarbij nu eens A, dan weer B hoger aanwijst. C wijkt vaak sterk af. Het bleek al spoedig, dat dit model bij windkracht kleiner dan 3 Beaufort onvoldoende is geventileerd. Bij windkrachten groter dan 3 Beaufort zijn de temperaturen in veel betere overeenstemming met die, welke in de andere constructies werden gemeten.

II. Metingen op 75 cm hoogte

Vergeleken werden A, B, C en D.

C blijkt ook hierbij weer zeer traag te reageren op de temperatuurschommelingen. Dit geldt ook, hoewel in mindere mate, voor D. B reageert het snelst op de fluctuaties in temperatuur. Opvallend is dat de thermometer in B soms $0,2$ à $0,3^{\circ}C$ hoger aanwijst dan die in de overige modellen.

III. Metingen op 10 cm hoogte

De boven beschreven temperatuurwaarnemingen dragen slechts een oriënterend karakter. Meer aandacht werd besteed aan het gedrag van de afschermhutjes, wanneer deze op 10 cm boven het grondoppervlak werden geplaatst. Daar de (betrekkelijk grote) nachtvorsthut voor metingen op geringe hoogte boven de grond minder geschikt was, werd zij niet in deze series opgenomen.

Vergeleken werden B, C, D, E, F en G, op een vlak, met kort gras begroeid terrein.

1. *Metingen van 25 Augustus.* Weertype 3/10 Cu Ac S.S.W. 2 à 3. t 13.47—14.10. Gedurende het eerste deel der proefserie scheen de zon fel, tijdens het tweede deel zeer mat. De temperatuur werd steeds in dezelfde volgorde afgelezen. Het resultaat van deze metingen is weergegeven in fig. 5. Duidelijk blijkt weer dat C, althans in de huidige vorm, onbruikbaar is. Tussen de overige constructies kwamen vaak verschillen van ongeveer $1^{\circ}C$ voor.

Bij metingen op geringe hoogte en bij felle zonbestraling kan men aannemen, dat de afscherming waarin de laagste temperatuur gemeten wordt, de beste is. E gaf in het eerste deel der waarnemingenreeks steeds de laagste temperaturen, daarop volgen B en C, die gemiddeld $0^{\circ},4C$ resp. $0^{\circ},3C$ hoger temperaturen aanwijzen. De modellen D en F zijn in dit deel van deze serie minder goed.

In het tweede deel van deze serie (bij matte zon en dalende temperatuur) is vooral van belang, hoe snel de verschillende constructies de temperatuurdaling volgen.

Met de modellen F en B werd blijkens het verloop van de lijnen de snelste aanpassing verkregen in een geval, waarin nog niet gesproken kon worden van een *plotselinge* temperatuurwisseling. Daarop volgen E, G, D en tenslotte C. De belangrijk geringere bruikbaarheid van C t.o.v. de andere modellen wordt in dit proefje nogmaals aangetoond.

2. *Metingen van 6 September.* Weertype: zonnig, zeer weinig wind, 's middags wat Cu bewolking. Evenals bij de metingen van 25 Augustus werden de temperaturen doorlopend en steeds in dezelfde volgorde afgelezen tussen 13.20 en 15.08.

Aan de hand van de oorspronkelijke gegevens werden voortschrijdende gemiddelden bepaald ($n=5$).

Deze gemiddelden zijn weergegeven in fig. 6. Uit het verloop der lijnen volgt de volgende rangschikking (van hoge naar minder hoge temperaturen): C, D, F, B, E, G. Dit is dus vrijwel dezelfde rangschikking als bij de metingen op 25 Augustus bij felle zon, alleen zijn de modellen E en G in de rangorde verwisseld.

CONCLUSIES

Bij de boven beschreven metingen is wel gebleken, dat de *vorm* van het model, het gebruikte *materiaal* en de *ventilatie* van grote invloed zijn op de temperatuur.

Het van plastic vervaardigde spiraalvormige model C is in de huidige uitvoering niet bruikbaar, vooral niet voor temperatuurmetingen dicht bij de grond. De belangrijkste fout is ongetwijfeld de geringe ventilatie.

Bij de metingen bleken het best bruikbaar het verbeterde model (G), een statief, dat gebruikt wordt bij het minimum-temperatuuronderzoek, het cilindrische model (B) en het model, dat gebruikt wordt bij de metingen met de Brownthermograaf (E). Model G zou wellicht nog iets beter geventileerd kunnen zijn; wat dat betreft voldoen de modellen B en E beter. Bij model B is de kwikbol (door de geheel open achterkant) niet voldoende afgeschermd tegen straling. Bij model D zou de ventilatie alsmede de bescherming tegen stralingsinvloeden verbeterd kunnen worden.

Constructie van proefmodellen

In aanmerking genomen, dat het gebruikte cilindrische model met gebrekkige hulpmiddelen en van voor het doel ongeschikt te achten materiaal is vervaardigd, konden de eerste resultaten met dit model hoopgevend worden genoemd. Later is ditzelfde model uitgevoerd in wit vinyline. Het wordt behalve voor afscherming van kwikthermometers (waarbij het goed voldoet) ook bij enkele meetseries gebruikt voor afschermen van thermograafelementen. Hierbij bleek het echter niet voldoende geventileerd te kunnen worden, daar de thermograafkast de opening aan de Noordzijde te veel afsluit. Een geheel bevredigende methode voor het afschermen van thermograaf- en hygrograafelementen is nog niet gevonden; te zijner tijd zal hierop in een afzonderlijke publicatie nader worden ingegaan.

HOOFDSTUK III

NADER ONDERZOEK NAAR HET GEDRAG VAN GEVENTILEERDE PSYCHROMETERS

§ 1. FACTOREN DIE DE NAUWKEURIGHEID EN DE BETROUWBAARHEID VAN DE VOCHTIGHEIDSBEPALINGEN BEINVLOEDEN

Aangezien in publicaties over meettechnische onderwerpen nog al eens verwarring heerst met betrekking tot de definities van de gebruikte termen, is het wellicht gewenst, op deze plaats eerst te omschrijven, wat *hier* onder „*nauwkeurigheid*” (precision) resp. „*betroouwbaarheid*” (reliability) van een meting wordt verstaan. Wij willen deze begrippen eerst omschrijven met het oog op het *instrument*, waarmee de meting wordt verricht; de betekenis van de termen ten opzichte van de *meting* is dan gemakkelijk af te leiden. De bedoeling is, een eenvoudige omschrijving te geven, zonder op meettheoretische principes in te gaan.

Betroouwbaar noemen wij een meetinstrument, wanneer het meetresultaten oplevert, die goed overeenstemmen met de meetresultaten welke met een erkend standaard-instrument worden verkregen. De *mate* van betrouwbaarheid kan dus uitgedrukt worden met behulp van de *relatieve* afwijking van het betreffende instrument ten opzichte van het standaardinstrument. Het zal op grond van deze omschrijving duidelijk zijn, dat de betrouwbaarheid van een meetinstrument wordt bepaald door zijn *constructie*, in verband met de *omstandigheden*, waaronder het wordt gebruikt. Zo zal bijvoorbeeld een maatstok voor lengtemetingen, die vervaardigd is uit een materiaal met een grote lineaire uitzettingscoëfficiënt, *niet* betrouwbaar zijn voor lengtemetingen die onder wisselende temperatuursomstandigheden moeten plaats vinden. Voorts is het duidelijk, dat *ijking* van het meetinstrument een middel kan zijn om de betrouwbaarheid te verhogen, met name in die gevallen waarin de aard van de oorzaken der afwijkingen fysisch voldoende beheerst kan worden. Wanneer bijvoorbeeld van de maatstok uit ons voorbeeld aangenomen mag worden dat hij alléén onderhevig is aan lengteveranderingen ten gevolge van temperatuursinvloeden, en de uitzettingscoëfficiënt van het materiaal is nauwkeurig bekend, terwijl tevens bekend is dat hysteresisverschijnselen geen rol spelen, dan kan hij betrouwbaar gemaakt worden door *ijking* op een standaardmaat bij verschillende temperaturen.

Nauwkeurig noemen wij een meetinstrument, wanneer het ons in staat stelt, de te meten grootte uit te drukken in een maateenheid, die *klein* is ten

opzichte van de te meten grootheid. De nauwkeurigheid hangt dus af van de *relatie*, die bestaat tussen het te meten *object* en de *schaal* van het meetinstrument. Zo zal men bijvoorbeeld met een maatstok die in mm is verdeeld, de lengte van een tafel nauwkeuriger kunnen meten dan met een maatstok die slechts een verdeling in dm bezit.

Wat het *verband* betreft dat tussen de beide genoemde eigenschappen bestaat, merken wij het volgende op:

- a) Voor het meetinstrument *op zichzelf* beschouwd, zijn „nauwkeurigheid” en „betrouwbaarheid” geheel onafhankelijke eigenschappen.
- b) De voor het instrument te eisen nauwkeurigheid vindt in *het algemeen* haar *bovenste grens* in de betrouwbaarheid van het instrument. Het heeft bijvoorbeeld uit fysisch oogpunt geen zin, op een maatstok een verdeling in mm aan te brengen, wanneer hij dermate onbetrouwbaar is, dat afwijkingen van de orde van een cm ten opzichte van de standaardmaat kunnen optreden.

Thans overgaande van het meetinstrument tot de *meting*, dient in de eerste plaats in herinnering te worden gebracht, dat de *betrouwbaarheid* van het resultaat, behalve van de eigenschappen van het instrument, mede afhangt van de *omstandigheden* waarin en de wijze waarop de meting wordt uitgevoerd. Dit is een van de redenen, waarom aan meetapparaten voor microklimatologische metingen vaak andere eisen moeten worden gesteld dan aan meetapparaten voor normale klimatologische metingen.

De *nauwkeurigheid* van de meting tenslotte wordt *absoluut* begrensd door de nauwkeurigheid van het instrument, doch bij de afzonderlijke meting kunnen ook andere factoren bepalend zijn, bijvoorbeeld de fluctuaties die in de te meten grootheid zelve optreden. Het heeft bijvoorbeeld fysisch geen zin, het gewicht van een levend wezen tot in grammen nauwkeurig op te geven, als de stofwisselingsprocessen voortdurend fluctuaties van deze orde van grootte in het gewicht veroorzaken.

De vraag naar de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van bepalingen van de relatieve vochtigheid (f) met behulp van psychrometers, is in de volgende twee vragen te splitsen:

- A. Met welke betrouwbaarheid en nauwkeurigheid zijn de bepalingen van droge- en natte-boltemperatuur mogelijk?
- B. Aangenomen dat natte- en droge-boltemperatuur met een gegeven nauwkeurigheid bekend zijn, met welke nauwkeurigheid is daaruit f te bepalen?

ad A. Van betekenis voor de betrouwbaarheid resp. de te bereiken nauwkeurigheid bij de bepalingen van natte- en droge-boltemperatuur zijn de volgende factoren:

- A 1. de constructie van de psychrometer en de toestand waarin deze verkeert,
- A 2. de wijze waarop de psychrometer is opgesteld (invloed van de omgeving),
- A 3. de methode volgens welke de waarnemingen worden verricht,
- A 4. de bekwaamheid van de waarnemer.

ad B. Het antwoord op deze vraag hangt af:

- B 1. van het functioneel verband tussen droge- en natte-boltemperaturen enerzijds en de relatieve vochtigheid anderzijds;
- B 2. van de wijze, waarop de op dit verband berustende psychrometertabellen zijn uitgevoerd;
- B 3. van de berekeningsmethode die men toepast.

Wij zullen in de hier volgende §§ achtereenvolgens over deze punten enkele opmerkingen maken, in het bijzonder verband houdende met de bepaling van *f* met behulp van enkele typen van psychrometers volgens ASSMANN, onder microklimatologische omstandigheden. Deze methode ter bepaling van de luchtvochtigheid is namelijk bij verschillende micrometeorologische proefnemingen hier te lande toegepast.

§ 2. DE INVLOED VAN DE TOESTAND VAN HET INSTRUMENT EN DE INVLOED VAN DE OMGEVING (STRALINGSTOESTAND) OP DE AANWIJZING VAN DE PSYCHROMETER

Het is gewenst deze beide punten tezamen te behandelen, daar de invloed, die de stralingseigenschappen van de omgeving uitoefenen, afhankelijk is van de wijze van opstelling en afscherming van de psychrometer en in het bijzonder van het reflecterend vermogen van de huls.

In § 3 van Hoofdstuk I werd reeds opgemerkt, dat in zeer vele gevallen de droge-bolthermometer van een Assmann-psychrometer een hogere temperatuur aanwees dan een kwikthermometer in een kleine afschermhut. Als wij ervan uitgaan dat bij metingen overdag, dus onder *in*stralingsomstandigheden, de *laagst* aanwijzende van twee identiek geplaatste thermometers het best de „ware” luchttemperatuur benadert, blijkt hieruit reeds dat zonder speciale voorzorgen de aflezing van de drogebol-temperatuur door middel van een dergelijke psychrometer niet zonder meer betrouwbaar geacht mag worden, m.a.w. ook een geventileerde psychrometer kan niet als volkomen vrij van stralingsinvloeden beschouwd worden. [Door VAN DER HELD (15) wordt erop gewezen, dat onder bepaalde omstandigheden bij een Assmann-psychrometer bijvoorbeeld 16½%

van de totale warmte-toevoer afkomstig kan zijn van straling en van geleiding door de draagconstructie]. Bovendien was ons in de praktijk, bij onderzoeken waarbij de luchtvochtigheid tussen het gewas psychrometrisch bepaald werd, herhaaldelijk gebleken dat geconstateerde verschillen zeer waarschijnlijk op rekening van constructieverschillen in de gebruikte instrumenten moesten worden geschreven.

Het leek daarom gewenst, een onderzoek in te stellen naar de oorzaken en naar de grootte van dergelijke verschillen, teneinde duidelijker te worden ingelicht over de mate van betrouwbaarheid van psychrometerwaarnemingen. Daartoe zijn een aantal vergelijkende metingen verricht. Tot onze beschikking stonden enige exemplaren van psychrometers volgens ASSMANN, nl. een groot en een klein model, beide van fabrikaat FUESS. Hiermee werd gemeten op 2 hoogten boven de grond, nl. op +50 cm en op +150 cm, en zowel boven onbebouwde zandgrond als boven een grasveld. De te vergelijken psychrometers werden op ongeveer 1 m afstand van elkaar opgesteld en bij iedere psychrometer was een waarnemer geplaatst. De psychrometers werden een aantal (meestal ca. 10) malen achter elkaar gelijktijdig afgelezen, zowel de droge als de natte thermometer, met tussenpozen van 5 of 6 seconden, waarna de gemiddelden van de aflezingen van elke psychrometer werden berekend. Vergeleken werden in totaal 5 psychrometers, nl. 3 grote, aangeduid als A, B en C, en 2 van het kleine type, gemerkt a en b. Hieronder volgt een overzicht van een aantal meetseries bij verschillende weersomstandigheden (Tabellen VI, VII, VIII).

Meetseries vergelijking van psychrometers bij verschillende weersomstandigheden.

TABLE VI. Onbewolkte hemel, matige NNE-wind

Serie	droge bol (°C)				natte bol (°C)			
	A	B	a	b	A	B	a	b
I	16,5	16,9	16,9	17,0	12,9	13,0	13,3	13,1
II	16,8	17,3	17,2	17,3	13,1	13,3	13,3	13,2
Gem.	16,6 ^s	17,1	17,0 ^s	17,1 ^s	13,0	13,1 ^s	13,3	13,1 ^s
<i>f</i> in %	66 ^s	64	65	64				

TABLE VI. Comparison of 4 psychrometers (A, B, a, b) at clear sky and moderate NNE wind

In beide meetseries blijkt instrument A lager aan te wijzen dan de drie overige, die niet significant van elkaar verschillen. Dat geldt zowel voor de natte als voor de droge thermometer, doch voor laatstgenoemde het sterkst; hierbij bedraagt het verschil ongeveer 0,5°C. Ten aanzien van de uit de aflezingen afgeleide relatieve vochtigheid *f* bedraagt het verschil tussen A en de drie andere instrumenten ongeveer +2½% voor het gemiddelde van de 2 series.

TABEL VII. Wisselende Cu-bewolking, matige W.wind

Serie	droge bol (°C)				natte bol (°C)			
	A	B	a	b	A	B	a	b
I	17,0	17,2	17,4	17,4	12,1	12,3	13,0	12,6
II	17,1	17,3	17,2	17,3	12,5	12,7	12,5	12,5
III	17,0	17,0	16,4 (!)	17,2	12,2	12,6	12,4	12,8
Gem.	17,0	17,2	17,0	17,3	12,3	12,5	12,6	12,6
<i>f</i> in %	58	58	60	58				

TABLE VII. Comparison of 4 psychrometers (A, B, a, b) at moderate W-wind, cloudiness alternate (Cu.)

In deze reeks komt maar één opvallende afwijking voor, nl. bij droge bol a in serie III. Deze beïnvloedt het gemiddelde zodanig dat f_a een afwijking van +2% verkrijgt t.o.v. de drie andere instrumenten, die onderling dezelfde gemiddelde f opleveren. De oorzaak van deze afwijking is niet meer na te gaan (een meetfout is niet waarschijnlijk). Van een afwijking van instrument A ten opzichte van de overige is hier niets te bespeuren.

TABEL VIII. Betrokken, af en toe lichte regen; zwakke W.wind

Serie	droge bol (°C)			natte bol (°C)		
	A	B	a	A	B	a
I	9,8	10,0	9,8	8,0	8,0	7,9
II	9,6	9,8	9,6	7,9	7,8	7,8
III	9,7	9,8	9,8	7,8	8,0	8,0
IV	9,9	10,0	9,8	7,9	8,0	7,9
Gem.	9,75	9,9	9,75	7,9	7,95	7,9
<i>f</i> in %	78	77	78			

TABLE VIII. Comparison of 3 psychrometers (A, B, a) at cloudy sky, alternate rain, wind-speed low (W)

Hier zijn in het geheel geen significante verschillen aanwezig.

Bij vergelijking van de drie bovenvermelde groepen van meetseries blijkt, datm wanneer men afziet van de ene onverklaarbare afwijking in Tabel VII serie III, tussen de aanwijzingen van de instrumenten B, a en b geen significante verschillen bestaan; dat evenwel onder omstandigheden waarbij bestraling door de zon mogelijk is, het apparaat A en voornamelijk de droge thermometer daarvan, *lager* aanwijst dan de andere. Dat dit verschil niet veroorzaakt kan zijn door ijkfouten van de thermometers, kon worden aangetoond door onderlinge verwisseling der thermometers in de drie grote instrumenten A, B en C.

Een mogelijke verklaring is, dat de instrumenten onderhevig zijn aan miswijzingen tengevolge van stralingsinvloeden en eventueel geleidingsinvloeden en dat het instrument A deze fout in mindere mate vertoont dan de andere. Hiermee zou verklaard kunnen worden, dat het verschil niet optreedt bij geheel of grotendeels bewolkte hemel.

Een volgende proef gaf steun aan de veronderstelling, dat de *straling* inderdaad aansprakelijk is te stellen voor de gevonden verschillen. Wij vergeleken namelijk tijdens *zonnig weer met zwakke NE-wind* de twee grote psychrometers A en C onderling en wel eerst zodanig, dat beide psychrometers aan de onbelemmerde zonbestraling blootgesteld waren, en daarna terwijl beide psychrometers door een opgehangen scherm tegen directe bestraling beschut waren. De resultaten waren als volgt:

TABEL IX. Vergelijking van beschutte en onbeschutte psychrometers

Serie	droge bol (°C)		natte bol (°C)	
	A	C	A	C
I. Bij directe bestraling (<i>exposed</i>)				
I	13,3	13,8	9,9	9,9
II	13,2	13,7	9,7	9,7
Gem.	13,2 ^s	13,7 ^s	9,8	9,8
<i>f</i> in %	64,5	60,5		
II. Psychrometers achter <i>scherm</i> (<i>shadowed</i>)				
III	13,7	13,8	10,1	10,1
IV	14,1	14,3	10,3	10,5
Gem.	13,9	14,0 ^s	10,2	10,3
<i>f</i> in %	63	62,5		

TABEL IX. *Comparison between shadowed and exposed psychrometers (I exposed, II shadowed)*

Het blijkt nu inderdaad, dat bij de tweede groep, dus wanneer de invloed van de bestraling is uitgeschakeld, geen significante verschillen tussen de beide psychrometers bestaan, terwijl bij de onbeschutte psychrometers tussen A en C een verschil van +4% in *f* optreedt, wat in dit geval uitsluitend aan het verschil in aanwijzing van de *droge* thermometers te wijten is. Hierbij moet opgemerkt worden, dat instrument A een vrijwel nieuw en ongebruikt instrument was, terwijl van de huls van het instrument C de nikkellaag op vele plaatsen beschadigd was en het messing bloot lag; hierdoor wordt de reflectie verzwakt.

De uitkomsten van deze meetseries geven dus steun aan ons vermoeden, dat ook van geventileerde psychrometers niet zonder meer gezegd kan worden, dat

zij vrij zijn van stralingsinvloeden. Deze invloeden kunnen fouten in de relatieve-vochtigheidsbepaling van minstens de orde van 2 tot 4% veroorzaken!

De oorzaak van de gesignaleerde afwijkingen is dus vermoedelijk gelegen in stralingsinvloeden. Latere metingen hebben dit bevestigd. De hier bedoelde metingen werden als volgt uitgevoerd:

Boven een vlak open terrein, met kort gemaaid gras begroeid, stelt men 2 geventileerde Assmann-psychrometers op, beide met goed reflecterende hulzen. De ene is geheel vrij geplaatst, de ander wordt beschaduwd door een groot scherm (ongeveer 2 bij 3 m), dat op enige afstand van de psychrometer ongeveer loodrecht op de richting van de zonnestralen wordt opgesteld. Uiteraard werpt dit grote scherm ook een slagschaduw op een groot gedeelte van de grond rondom de psychrometer.

Wanneer men nu de beide psychrometers gedurende een aantal minuten gelijktijdig afleest met tussenpozen van een halve minuut, vindt men bij zonnig weer steeds een aanmerkelijk verschil en wel wijst de bestraalde psychrometer een hogere temperatuur aan dan de beschaduwde. Bovendien bleek dat de grootte van dit verschil afhankelijk is van de hoogte boven de grond, waarop de psychrometers zijn opgesteld en wel wordt het verschil des te groter naarmate het instrument dichterbij de grond is geplaatst. Op 20 cm boven de grond blijkt het verschil op een bepaalde dag van de orde van 1° tot $1,5^{\circ}\text{C}$ te zijn, terwijl onder overigens gelijke omstandigheden op +50 cm hoogte het verschil van de orde van $0,5$ tot $1,0^{\circ}\text{C}$ is. Een voorbeeld van deze uitkomsten geeft fig. 7.

FIG. 7. Droge-boltemperaturen van een beschaduwde en een onbeschaduwde geventileerde psychrometer op 20 cm boven de grond

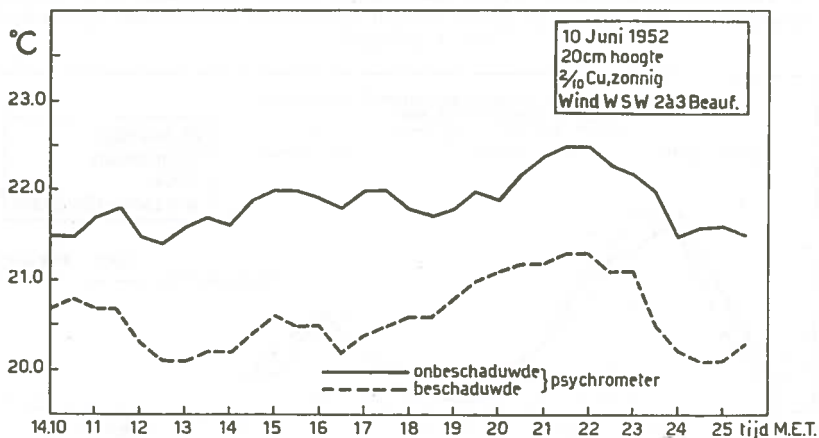


FIG. 7. Dry-bulb temperatures at 20 cm above ground-level from ventilated psychrometers in the shadow (dotted line) and exposed to full sunshine (full line)

Een groot scherm, zoals bij deze metingen werd gebruikt, beïnvloedt de psychrometer op een gecompliceerde manier:

1. het onderschept de directe straling die op de huls van de psychrometer valt,
2. het beschadwt een gedeelte van de grond en beïnvloedt derhalve de straling van de bodem,
3. het beïnvloedt de stroming van de lucht langs de huls van de psychrometer (windsterkte),
4. het wijzigt de richting, van waaruit de lucht, die door de aspirator wordt aangezogen, in hoofdzaak toevloeit.

Door bij de wijze van opstelling van het scherm bepaalde voorzorgen in acht te nemen, kan men bereiken, dat een of meer van de hiergenoemde effecten worden uitgeschakeld of althans verzwakt.

Bijvoorbeeld kan men het scherm, in plaats van loodrecht op de zonnestraling, *horizontaal* boven de psychrometer aanbrengen, zodat wel de psychrometer en een gedeelte van de bodem worden beschadwd, doch de lucht-circulatie niet wordt gestoord. Daar de zonnestralen scheef invallen, heeft men dan bovendien de mogelijkheid, dat de bodem loodrecht onder de psychrometer wél bestraald kan worden. Dit is uitgevoerd met de psychrometers op hoogten van +50 en +150 cm en men vond hierbij geen significante verschillen in aanwijzing (fig. 8). Evenmin vond men deze verschillen, wanneer men, in plaats van met het grote horizontale scherm, werkte met een schermpje van 30 bij 30 cm, dat alleen de *onmiddellijke omgeving* van de psychrometer beschutte.

FIG. 8. Droge-boltemperaturen van een beschadwde en een onbeschadwde geventileerde psychrometer op 50 cm boven de grond (scherm horizontaal, grond onder psychrometers wordt bestraald)

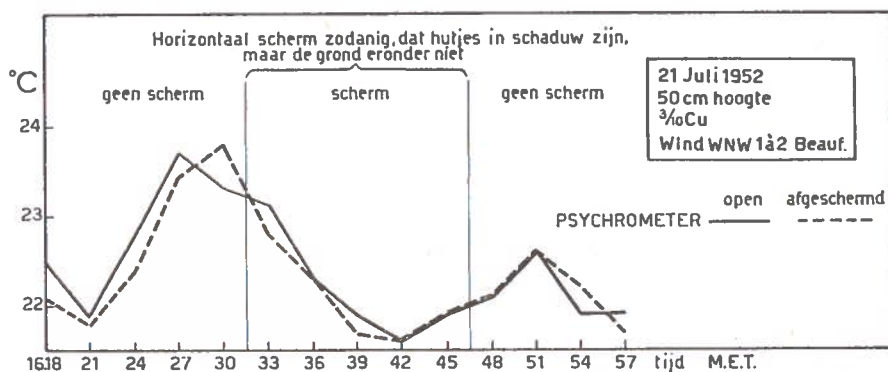


FIG. 8. Dry-bulb temperatures at 50 cm above groundlevel from ventilated psychrometers in the shadow (dotted line) and exposed to sunshine (full line). The screen above the first psychrometer is placed horizontally, the ground under the psychrometer being exposed to sunshine

Wanneer men de uitkomsten van al deze verschillende proeven tezamen beschouwt komt men tot de volgende voorstelling: Het buitenste omhulsel van de psychrometer wordt door de directe zonbestraling altijd enigszins verwarmd; des te meer, naarmate de reflecterende eigenschappen van het oppervlak minder goed zijn. Een volmaakte reflectie komt niet voor. Het reflecterend vermogen van het materiaal waaruit de psychrometerhuls vervaardigd is, is verschillend voor straling van verschillende golflengte, bovendien afhankelijk van de staat waarin het oppervlak verkeert. Voor langgolelige straling (warmtestraling van de bodem) is de absorptie denkelijk van niet te verwaarlozen grootte. De luchtstroom die door de aspirator wordt onderhouden is *niet sterk genoeg* om bij directe bestraling de buitenmantel dermate te koelen, dat warmte-overdracht naar de binnenhuls toe geheel wordt voorkomen. [De luchtstroom is hierop niet berekend, maar dient alleen voor het afvoeren van de waterdamp van de natte bol]. Wanneer evenwel in de buitenlucht enige windstroming voorkomt, is dit wel voldoende om de buitenmantel zodanig af te koelen, dat temperatuurverhoging van de thermometers voorkomen wordt. Op enige hoogte boven de grond (bijv. 1,5 m) is bij zonnig weer deze luchtstroming wel steeds aanwezig; vlak bij de grond echter, in vrijwel stagnerende lucht, kan de direct bestraalde psychrometer oververwarmd geraken en dus een verschil opleveren met de beschaduwde psychrometer op dezelfde hoogte. [Schijnbare warmtegeleiding van de luchtlaag vlak bij de grond door infrarode straling speelt hier een rol].

Wanneer men op een bepaald waarnemingsterrein op een zeker ogenblik in een aantal punten, eventueel op verschillende hoogten boven de grond gelegen, gelijktijdig de relatieve luchtvochtigheid nauwkeurig wil bepalen met behulp van psychrometers, dient men dus in de eerste plaats rekening te houden met afwijkingen, die kunnen optreden als gevolg van beschadigingen van het *reflecterend oppervlak* van de psychrometerhulzen. Het is gewenst, zo veel mogelijk te zorgen dat deze oppervlakken zich in goede staat bevinden wat hun reflecterend vermogen betreft.

Bovendien zagen wij, dat bij de opstelling van psychrometers *dicht bij de grond*, waar dus de natuurlijke ventilatie gering kan zijn, in het bijzonder bij zonnig weer rekening moet worden gehouden met fouten ten gevolge van extra verwarming der thermometers door de *directe zonnestraling*, en door schijngeleiding van de lucht. Onder bepaalde onstandigheden kunnen deze fouten de orde van grootte van 1°C in de droge-boltemperaturen zeker bereiken.

Er zijn echter nog meer punten, waarop gelet dient te worden.

In de eerste plaats is het natuurlijk wenselijk, dat men voor vergelijkende metingen een aantal psychrometers van *hetzelfde type* gebruikt. Psychrometers van verschillend type kunnen bijvoorbeeld verschillen vertonen ten aanzien van het volume van de kwikreservoirs, ten aanzien van de verhouding tussen volume en oppervlak van dit reservoir, ten aanzien van de wanddikte van het reservoir e.d.; al deze factoren kunnen resulteren in een verschil in *traagheid*, waardoor

kleine en snelle temperatuurvariaties door de ene thermometer vlugger gevolgd worden dan door de andere. Dit kan bij simultane metingen fouten veroorzaken. Ook kan het verschil in bouw van de draagconstructie der thermometers een niet onbelangrijk verschil in warmte-overdracht door „inwendige” straling en door geleiding veroorzaken.

Verder dient men er op te letten, dat de *zuigkracht der ventilatoren* voldoende is. Gewenst is een luchtstroomsnelheid van minstens 2 m/sec. Bij veldwerk kan het gemakkelijk voorkomen, dat door stof en zand in het drijfwerk de werking van de ventilatoren wordt gestoord.

Een punt van groot belang is verder de toestand van het *kousje* met behulp waarvan de natte bol wordt bevochtigd. Het materiaal en de wijze van bevestiging hiervan dienen bij alle te vergelijken psychrometers nauwkeurig gelijk te zijn en vooral dient men te waken tegen verontreiniging van deze kousjes en ze dus zo nodig dikwijls te vervangen. Het *bevochtigen* van de kousjes dient zeer secuur te gebeuren; een veel voorkomende fout is, dat tevens de droge bol wordt bevochtigd!

Deze opmerkingen van practische aard schijnen triviaal. Zij worden hier gemaakt, omdat de practijk uitwijst, dat men juist bij het verrichten van *veldproeven* zeer waakzaam moet zijn tegen dergelijke fouten.

§ 3. DE INVLOED VAN DE METHODE, VOLGENS WELKE DE WAARNEMINGEN WORDEN VERRICHT

Bij de in Hoofdstuk III § 2 beschreven vergelijkende bepalingen van de relatieve vochtigheid werd gebruik gemaakt van een serie van 10 achtereenvolgende psychrometeraflezingen met tussenpozen van enkele seconden. Deze werkwijze werd toegepast met de bedoeling, de „toevallige” kleine en snelle temperatuurfluctuaties van droge en natte thermometer zo veel mogelijk te nivelleren. Het aantal aflezingen dat voor het bepalen van een betrouwbaar gemiddelde voldoende is, hangt natuurlijk af van de *duur* en de *amplitude* van deze fluctuaties en derhalve zowel van het heersende *weertype* als van het *milieu* waarin de meting wordt verricht. Een aantal van 10 aflezingen is onder de meeste omstandigheden voldoende. Dit werd proefondervindelijk bepaald, door bij diverse weersomstandigheden reeksen psychrometeraflezingen te verrichten en de *spreiding* van de afgelezen waarden te bepalen voor verschillende reekslengten, bijv. voor een aantal waarnemingen $n=2, 4, 6, 8, 10, 15$. Bij deze proeven werd steeds gewerkt met 4 Assmann-psychrometers [2 van het grote en 2 van het kleine type; in de vorige § aangeduid met de letters A, B, a, b], die dicht bij elkaar en met de bollen op gelijke hoogte werden opgehangen, terwijl 2 waarnemers aanwezig waren, die ieder 2 psychrometers aflazen. Tussen de series verwisselden de waarnemers van plaats.

Het blijkt dan, dat in de meeste gevallen bij $n=10$ de spreiding reeds ongeveer een constante waarde bereikt, d.w.z. toename van het aantal waarnemingen

boven 10 vergroot de nauwkeurigheid niet noemenswaard. Dit blijkt uit de 3 grafieken in fig. 9, waar de spreiding in de metingen, uitgedrukt in % relatieve vochtigheid, is uitgezet tegen het aantal waarnemingen, Na $n=10$ beginnen de krommen vrijwel horizontaal te lopen.

Bij vergelijking van de drie grafieken blijkt, dat de spreiding in de uitkomsten (de metingen werden weer verricht met tussenpozen van enkele seconden) het

FIG. 9. Spreiding (σ) in de waarden van f , berekend uit reeksen van n achtereenvolgende psychrometeraflezings, in afhankelijkheid van de grootte van n , voor 4 psychrometers: A, B (groot type) en a, b (klein type). — I bij felle zon en zwakke wind; II bij betrokken hemel en zwakke wind; III bij wisselende bewolking en matige wind

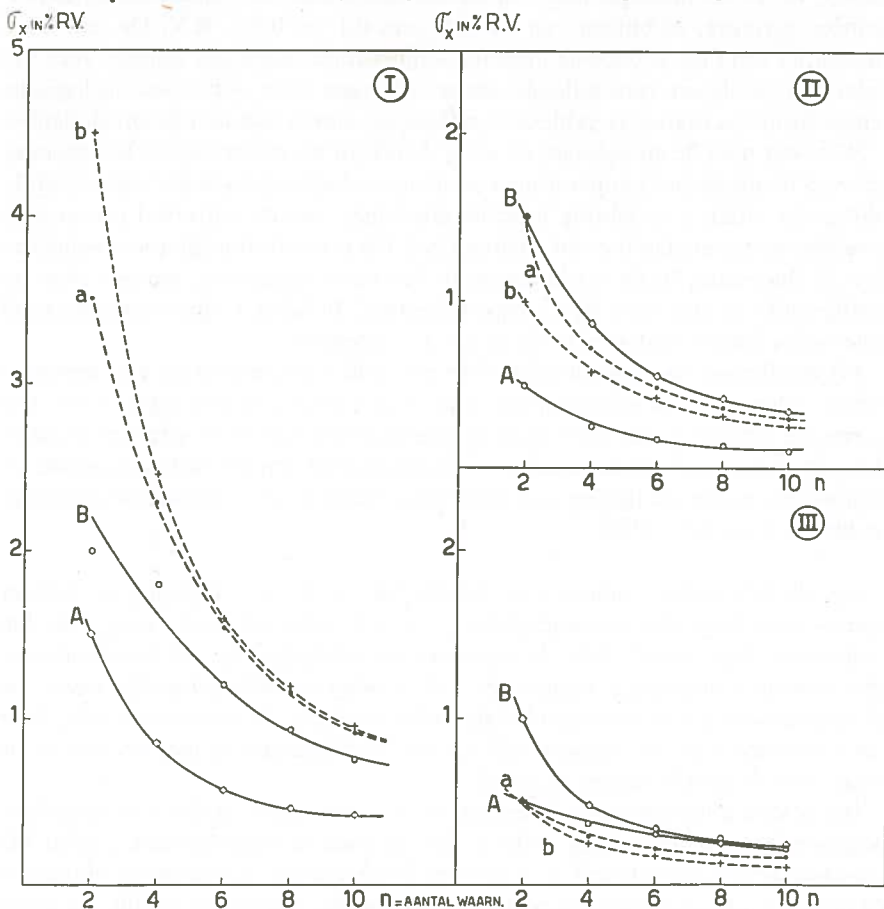


FIG. 9. Standard-deviation (σ) of the values of relative humidity computed from series of n psychrometer-readings, varying with n . Graphs for 4 psychrometers: A, B (big type), a, b (small type). — I at full sunshine and low windvelocity; II at low windvelocity; cloud-covered sky; III cloudiness varying; moderate wind

grootst is bij felle zon en zwakke wind, en waarschijnlijk voornamelijk tengevolge van toenemende windsterkte kleiner wordt. Ook bij een voldoende aantal waarnemingen, dus 10 of meer, blijkt bij zwakke wind en felle zon (dus bij „ongunstige” weersomstandigheden) toch nog een spreiding van $\frac{1}{3}$ tot 1% R.V. te blijven bestaan. Onder deze omstandigheden zijn de uitkomsten bij de kleine psychrometers (a en b) minder homogeen dan bij de grote psychrometers (A en B). Van deze laatste is A de beste; dit bleek ook reeds bij de in § 1 van dit Hoofdstuk beschreven vergelijking tussen de psychrometers A, B en C onder verschillende weersomstandigheden. Bij sterkere wind, of geheel of gedeeltelijk bewolkte hemel, wordt de homogeniteit van de reeksen groter, d.w.z. de fluctuaties in F worden geringer; ze blijven van de orde van 0,1 tot 0,3% R.V. De aan deze fluctuaties van f ten grondslag liggende temperatuurfluctuaties kunnen zeer wel reëel zijn, zoals uit verschillende onderzoeken over micrometeorologische temperatuurfluctuaties is gebleken; zij hangen samen met de microturbulentie.

Wanneer men de spreidingen σ_t en σ_t' berekent uit series van 10 waarnemingen van de droge-bol temperatuur t en de natte-boltemperatuur t' afzonderlijk, blijkt, dat althans bij zonnig weer de aflezingen van de natte bol een *grotere spreiding* vertonen dan die van de droge bol. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de fluctuaties in de verdamping uit het natte oppervlak, die dus zeer gevoelig blijkt te zijn voor de microturbulentie*. In tabel X zijn voor een aantal meetseries (steeds met $n=10$) de σ_t en σ_t' opgegeven.

Bij bepalingen van f -gemiddeld over een kort tijdsverloop op één bepaalde plaats volgende deze meetmethode [die door LANGLO wordt aanbevolen, (7)] vormt de spreiding die door deze temperatuurfluctuaties wordt veroorzaakt, dus een grens voor de te bereiken nauwkeurigheid. Bij gebruik van goede instrumenten wordt de ligging van deze grens bepaald door de weersomstandigheden en door het milieu.

Op een belangrijke oorzaak van bedenkelijke fouten in de bepaling van f onder microklimatologische omstandigheden zijn wij gekomen in de loop van het onderzoek. Het betreft hier de temperatuurverhoging, die de psychrometerthermometers ondergaan tengevolge van de uitgestraalde *lichaamswarmte van de waarnemer* en van de uitgeademde lucht, wanneer de waarnemer zich, voor het verrichten van een of meer reeksen van 10 aflezingen, enige minuten in de buurt van de psychrometer ophoudt.

Bij de beschouwing van één enkele of een zeer klein aantal van dergelijke waarnemingsreeksen is deze invloed niet zo goed te onderkennen, omdat het verschijnsel gesuperponeerd is op de werkelijke temperatuurvariaties gedurende de meetperiode. Wanneer wij echter de statistische weg volgen en uit een groot

* Tot dezelfde conclusie komt L. HECKERT, van wien ons nog na voltooiing van het manuscript van deze verhandeling enkele zeer interessante artikelen over de bruikbaarheid van Assmann-psychrometers onder ogen kwamen (19, 20).

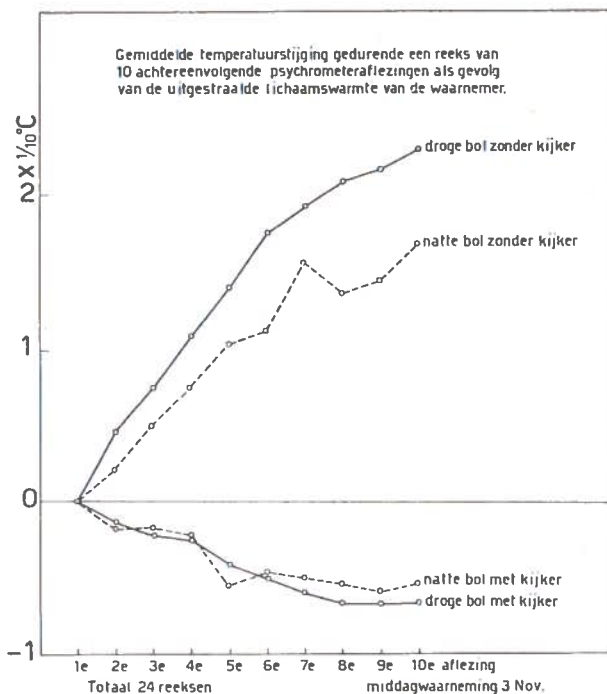
TABEL X. Spreidingen σ_t en σ_t' van reeksen van 10 aflezingen van droge- resp. natte-boltemperatuur van 4 psychrometers

Psychrometer	A	B	D	E	A	B	D	E
Waarden van σ_t van de droge-boltemperatuur								
2 Juni 1947	Tijd 14,28				Tijd 14,32			
t	29,2	29,3	29,3	29,3	29,0	29,2	29,3	29,5
σ_t	0,08	0,06	0,08	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
5 Juni 1947	Tijd 16,23				Tijd 16,27			
t	16,0	15,9	16,0	16,1	15,8	15,7	15,8	16,0
σ_t	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
6 Nov. 1947	Tijd 11,14				Tijd 11,17			
t	10,6	10,5	10,5	10,5	10,7	10,5	10,7	10,5
σ_t	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
Waarden van σ_t' van de natte-boltemperatuur								
2 Juni 1947	Tijd 14,27				Tijd 14,32			
t'	22,6	22,5	22,3	22,1	22,5	22,6	22,4	22,3
σ_t'	0,15	0,11	0,15	0,16	0,09	0,08	0,11	0,10
5 Juni 1947	Tijd 16,23				Tijd 16,27			
t'	12,7	12,6	12,8	12,8	12,2	12,3	12,4	12,4
σ_t'	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02
6 Nov. 1947	Tijd 11,14				Tijd 11,17			
t'	9,5	9,5	9,5	9,5	9,6	9,5	9,6	9,6
σ_t'	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04

TABLE X. Standard-deviations σ_t and σ_t' in dry-bulb temperature and wet-bulb temperature respectively, from 4 psychrometers (A, B, D, E), series of 10 readings

aantal van dergelijke meetseries het gemiddelde bepalen van alle *eerste* aflezingen, daarna dat van alle *tweede* aflezingen, van alle *derde* aflezingen enz. tot en met het gemiddelde van alle *tiende* aflezingen, dan blijkt de reeks dezer gemiddelden een zekere regelmatige stijging te vertonen. Om te bewijzen, dat deze stijging het gevolg is van de temperatuurverhoging die de thermometers ondergaan door de onmiddellijke nabijheid van de waarnemer, hebben wij proeven uitgevoerd waarbij wij reeksen van op de normale wijze uitgevoerde waarnemingen vergeleken met gelijktijdig opgenomen reeksen, waarbij de waarnemer de thermometers met behulp van een *kijker* aflas vanaf een punt op ongeveer 3 m afstand van de psychrometer. Met uitzondering van de tijd, benodigd voor het opwinden van het veerwerk van de aspirator, kwam in dit laatste geval de waarnemer dus in het geheel niet in de buurt van de psychrometer. Bij al deze proeven kwam nu de geleidelijke temperatuurstijging van de

le tot de 10e waarneming zeer duidelijk naar voren bij dié instrumenten, die op de normale wijze werden afgelezen, terwijl bij de met behulp van de kijker afgelezen instrumenten tussen de gemiddelden van waarnemingen van verschillend rangnummer of géén verschil optrad (behoudens de natuurlijke statistische fluctuatie) ofwel een zeer geringe daling in temperatuur werd gevonden. Deze daling is hieraan toe te schrijven, dat vlak voor de 1e waarneming de waarnemer steeds even bij de psychrometer moet komen om het veerwerk op te te winden; hierbij verwarmt hij dus blijkbaar de thermometers een weinig. De grafieken in fig. 10 laten zien, dat de orde van grootte der verschillen tussen le en 10e waarneming van de orde van enkele tiende delen van graden Celsius is. Dit lijkt, in verband met wat hiervóór gezegd is over de nauwkeurigheidsgrens tengevolge van de natuurlijke temperatuurfluctuaties van de lucht, niet zo belangrijk, doch men dient te bedenken, dat bij deze proeven de gunstige situatie bestond, dat een reeks van 10 waarnemingen waarbij de waarnemer vlak bij de psychrometer stond, steeds werd gevolgd door een reeks waarnemingen via de kijker. Zou men bij practijkmetingen achter elkaar een



a

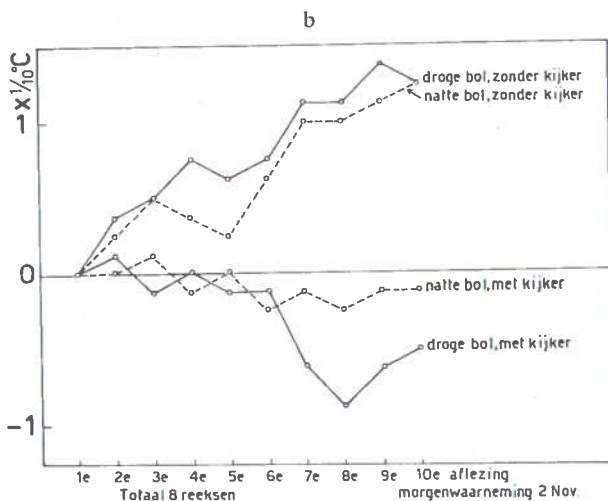


FIG. 10 a, b, c. Gemiddelde temperatuurstijging met het rangnummer van de waarneming uit reeksen achtereenvolgende psychrometeraflezingen als gevolg van de uitgestraalde lichaamswarmte van de waarnemer

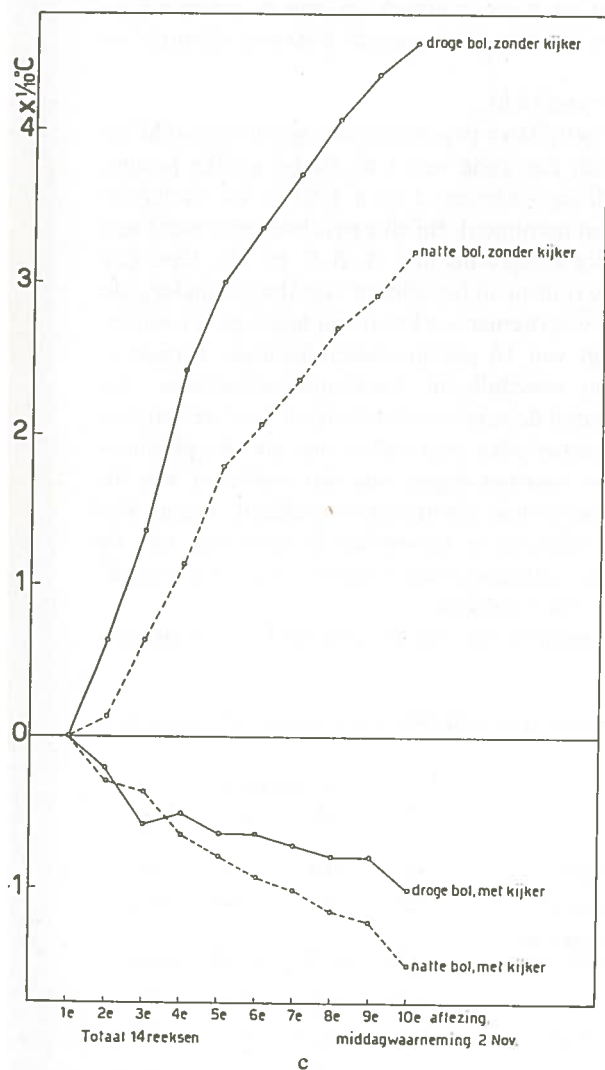


FIG. 10 a, b, c. Mean increase of temperature during series of psychrometer-readings due to radiant heat of the observer's body

aantal reeksen waarnemingen doen op de „gewone” manier, dus zonder kijker, dan zou het gevolg kunnen zijn, dat permanent te hoge temperaturen werden afgelezen: immers de grafieken wijzen nauwelijks op een merkbare vermindering in de temperatuurstijging voor of bij de 10e aflezing; bij voortzetting van de reeks zou dus waarschijnlijk het verschil met de „ware” temperatuur nog verder toenemen. Hoe lager de temperatuur van de buitenlucht is, hoe sterker treedt het effect van de lichaamswarmte te voorschijn. De hier beschreven waarnemingen zijn uitgevoerd bij zeer geringe windsnelheden.

§ 4. DE INVLOED VAN DE „PERSOONLIJKE FOUT” VAN DE WAARNEMER

Het is een bekend feit, hetwelk vooral bij metingen op astronomisch gebied de aandacht heeft getrokken, dat wanneer reeksen van waarnemingen worden gedaan waarbij zeer nauwkeurige visuele aflezing van schaalinstrumenten met een bepaalde snelheid noodzakelijk is, een duidelijk verschil aan de dag treedt tussen verschillende waarnemers wat betreft de te bereiken nauwkeurigheid. Hoewel deze nauwkeurigheid door routine op te voeren is, berusten de verschillen voor een deel op persoonlijke aanleg.

Waar het nu bij de boven beschreven methode ter bepaling van $f_{\text{óók}}$ aankomt op het binnen een kort tijdsbestek herhaalde malen zo nauwkeurig mogelijk aflezen van thermometers, leek het ons gewenst een indruk te krijgen van de rol, die de „persoonlijke fout” van de waarnemer hierbij kan spelen. Om dit te bereiken is het noodzakelijk, een methode te kiezen waarbij de persoonlijke fout van de waarnemer gescheiden wordt van eventuele instrumentfouten en van fysisch-reële afwijkingen.

De proefneming werd als volgt ingericht:

Een viertal zo goed mogelijk vergelijkbare psychrometers werd opgesteld op de hoekpunten van een vierkant met een zijde van 1 m, en op gelijke hoogte boven de grond [deze hoogte bedroeg ongeveer 1 m à 1,50 m en varieerde enigszins bij de verschillende groepen metingen]. Bij elke psychrometer werd een waarnemer geplaatst (in het vervolg aangeduid met A, B, C en D). Drie der waarnemers hadden een behoorlijke routine in het aflezen van thermometers, de vierde (D) was nog slechts kort als waarnemer werkzaam en bezat geen routine.

Er werden nu een aantal reeksen van 10 psychrometeraflezingen (droge + natte thermometer) uitgevoerd bij verschillende weersomstandigheden. Na iedere reeks van 10 aflezingen wisselden de waarnemers cyclisch. Na beëindiging van de proef had dus iedere waarnemer even veel malen met elk der psychrometers gewerkt (het aantal reeksen waarnemingen was een veelvoud van 4). Hierdoor waren de eventuele instrumentele afwijkingen vereffend. Langs statistische weg kon nu nagegaan worden of er verschillen in strooiing van de waarnemingen der vier waarnemers optraden. Het resultaat was, dat significante verschillen uit de proef *niet zijn gebleken*.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van enkele uitkomsten van de vergelijking der waarnemers.

TABEL XI. Vergelijking van de strooiing bij opeenvolgende psychrometer-aflezingen door 4 waarnemers

	Waarnemers			
	A	B	C	D
$\Sigma (x - x_{\text{gem}})^2$ van 4×10 wn. <i>droge-bol temp.</i>	75	104	156	62*
$\Sigma (x - x_{\text{gem}})^2$ van 4×10 wn. <i>natte-bol temp.</i>	327	378	158*	392
σ_x van 40 psychrometer-aflezingen (droge- en natte bol)	0°,23	0°,25	0°,20*	0°,24
σ_t in % R.V. voor een reeks van 10 wn.	1,4*	6,6	2,5	4,6
σ_t in % R.V. voor een 2e reeks van 10 wn.	5,1	2,9*	7,3	3,5
σ_t in % gemiddeld over deze 2 reeksen	3,25*	4,75	4,9	4,05
— hoogste, * laagste waarde van de 4 waarnemers.				

TABLE XI. Variance of psychrometer-readings from 4 various observers (A, B, C, D)

Men kan hieruit niet anders afleiden, dan dat de grootte van de strooïing in de verschillende reeksen vrij willekeurig over de waarnemers is verdeeld. Met name is er van een invloed van de ongeoefendheid van de waarnemer D niets te bespeuren. Hoogstens is er een zwakke aanwijzing dat waarnemer A een iets geringere strooïing heeft dan de anderen. In onderstaande tabel wordt een en ander nog nader toegelicht door voor elk der in de vorige tabel opgenomen reeksen de waarnemers een rangnummer te geven naar volgorde van de grootte der in de waarnemingen opgetreden strooïing (1 = kleinste, 4 = grootste strooïing):

TABEL XII. Rangschikking der waarnemers naar de grootte van de strooïing in de meet-series

	Waarnemers			
	A	B	C	D
a. $\Sigma (x-x_{gem})^2$ van 4×10 wn. <i>droge</i> bol-temp.	2	3	4	1
b. $\Sigma (x-x_{gem})^2$ van 4×10 wn. <i>natte</i> bol-temp.	2	3	1	4
c. σ van 40 psychrometer aflezingen	2	4	1	3
d. σ in % R.V. voor een reeks van 10 wn.	1	4	2	3
e. σ in % R.V. voor een 2e reeks van 10 wn.	3	1	4	2
f. σ in % gemiddeld over deze 2 reeksen	1	3	4	2
$\Sigma(a, b, d, e); \Sigma(c, f)$	8; 3	11; 7	11; 5	10; 5

TABLE XII. Ranking of the observers according to the value of variance in their readings

§ 5. DE PSYCHROMETERFORMULE EN DE PSYCHROMETERTABELLEN

Uit de aanwijzingen van de droge- en de natte-bolthermometer wordt in de practijk de relatieve vochtigheid gevonden met behulp van psychrometer-tabellen. Voor de geventileerde psychrometer zijn bij ons als zodanig in gebruik de „*Aspirations-Psychrometer-Tafeln, herausgegeben vom Reichsamt für Wetterdienst in Berlin*”.

Deze tabellen, waarvan de temperatuurschalen een verdeling in $0^\circ, 1^\circ \text{ C}$ bezitten, berusten op een formule van SPRUNG:

$$e = E\varphi = E' - C(t-t') \cdot \frac{P}{755} \quad \text{of} \quad f = 100 \frac{E' - C(t-t') \frac{P}{755}}{E}$$

waarin

t = droge-boltemperatuur in $^\circ \text{C}$,

t' = natte-boltemperatuur in $^\circ \text{C}$,

E = verzadigingsspanning van waterdamp bij de temperatuur t (in mm Hg),

E' = idem bij de temperatuur t' ,

e = dampspanning van de lucht in mm Hg,

P = barometerstand in mm Hg

φ = relatieve vochtigheid,

f = relatieve vochtigheid uitgedrukt in %,

en C = de z.g. *psychrometerconstante*.

Voor C wordt in de hiergenoemde tabellen de waarde 0,50 aangenomen (op grond van een afleiding die o.m. bij EBERT en PFEIFFER* te vinden is). Deze waarde geldt met goede benadering voor voldoende sterke luchtstromen en temperaturen onder 40°C.

Door VAN DER HELD (15) is evenwel aangetoond dat voor de gebruikelijke Assmann-psychrometers de waarde $C = 0,50$ te hoog is.

C mag niet als invariabel beschouwd worden, doch is een functie (onder meer) van t en t' (evenwel met een slechts zwakke temperatuurafhankelijkheid) en bovendien afhankelijk van straling en warmtegeleiding door de draagconstructie.

De waarden, die C aanneemt in het normale temperatuurgebied voor atmosferische lucht aan het aardoppervlak, liggen theoretisch volgens VAN DER HELD in de buurt van 0,42 tot 0,44. Bij vergelijking van Assmann-psychrometers met een dauwpuntshygrometer vond hij voor C inderdaad kleinere waarden dan 0,50 nl. 0,45 en 0,48.

Aan een voorbeeld kunnen wij gemakkelijk laten zien, welke invloed het gebruik van een onjuiste waarde voor de „psychrometerconstante” heeft op de betrouwbaarheid van de bepaling van φ .

Zij bijvoorbeeld gemeten $t = +25^\circ\text{C}$, $t' = +20^\circ\text{C}$, $P = 755$ mm, en nemen wij $C = 0,50$ dan wordt $\varphi = 0,633$; nemen wij echter $C = 0,45$, dan wordt $\varphi = 0,644$. Dit betekent dus een fout van ca 1½% in φ ofwel een fout van 1% relatieve vochtigheid.

Voor *nauwkeurige* metingen dient dus eigenlijk in de praktijk voor iedere psychrometer onder een aantal omstandigheden een waarde van C te worden vastgesteld, bijv. door ijking op een dauwpuntshygrometer.

In de bovengenoemde tabellen wordt bovendien nog de correctiefactor $\frac{P}{755}$ buiten beschouwing gelaten, zodat de opgegeven waarden feitelijk alleen voor de barometerstand 755 mm gelden; er zijn echter voor het geval van sterk afwijkende barometerstanden correctietabellen bijgevoegd.

Door VAN MEEL (16) is een berekening opgesteld van de fout in de bepaling van de relatieve vochtigheid tengevolge van onnauwkeurigheden in de temperatuurmetingen met droge- en natte-bolthermometers en onnauwkeurigheid van de psychrometerconstante.

Hij gaat bij deze berekening uit van een vereenvoudigde psychrometer-formule

$$E' - E\varphi = C (T - T'),$$

waarbij T resp. T' betekenen de droge- resp. natte-boltemperatuur in graden Kelvin, en waarbij uitdrukkelijk wordt opgemerkt, dat C *niet* betekent de psychrometerconstante met waarde 0,50 uit de formule van SPRUNG, doch een

* H. EBERT & A. PFEIFFER, Zs. f. Phys. 46, 420 (1928).

samengestelde functie voorstelt, waarin onder meer de barometercorrectie $\frac{P}{755}$ is opgenomen en die bovendien, zoals hierboven reeds werd opgemerkt, afhankelijk is van T en T' , alsmede van bijzondere eigenschappen van de lucht en van de psychrometer, zodat deze C voor iedere psychrometer onder een aantal omstandigheden door ijking bepaald dient te worden. VAN MEEL schat de invloed van T en T' alsmede die van de straling slechts gering en houdt voor zijn verdere afleidingen dan ook geen rekening met de afhankelijkheid van C t.o.v. T en van T' . Daar verder E en E' rechtstreeks afhankelijk zijn van T en T' , wordt φ dus een functie van de drie variabelen T , T' en C .

Voor het verband tussen E en T (resp. tussen E' en T') gebruikt hij een functie volgens ANTOINE:

$$E = e^{A - \frac{B}{T}}$$

die het voordeel heeft *eenvoudig* te zijn, daar ze slechts 2 constanten, A en B , bevat, waarvan A bovendien niet bekend behoeft te zijn voor de afleiding, terwijl B te bepalen is wanneer E bij 2 temperaturen bekend is, daar geldt:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} (\ln E_1 - \ln E_2)$$

Deze functie geeft binnen behoorlijk wijde temperatuurgrenzen redelijk nauwkeurige uitkomsten voor B ; als standaardwaarde neemt VAN MEEL: $B = 5175$.

Uitgaande van de psychrometerformule en de ANTOINE-functie schrijft VAN MEEL nu

$$\varphi = \frac{f}{100} = e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right) - A + \frac{B}{T} (T - T')}$$

Door φ totaal de differentiëren vindt hij na enige herleiding, aannemende dat dT en dT' verwaarloosbaar zijn t.o.v. T en T' , en dC verwaarloosbaar t.o.v. C :

$$\Delta \varphi \approx \alpha \Delta T' - \beta \Delta T - 100 \frac{T - T'}{E} \cdot \Delta C,$$

waarbij ΔT en $\Delta T'$ de fouten zijn in de bepaling van droge- resp. natte-boltemperatuur en ΔC de fout in C , terwijl $\Delta \varphi$ de fout in φ voorstelt. Hierbij is

$$\alpha = \frac{B}{T'^2} \cdot \frac{E'}{E} + \frac{C}{E} \quad \text{en} \quad \beta = \frac{B}{T^2} \cdot \frac{E'}{E} + \frac{C}{E} - \frac{CB}{E} \cdot \frac{(T - T')}{T^2}$$

Op grond van deze formule geeft VAN MEEL enkele tabellen en een grafiek, waarin men voor een aantal waarden van t en t' (nu in graden Celsius opgegeven) de factoren α en β vindt, waarmee men de fout van de natte- resp. de droge-boltemperatuur moet vermenigvuldigen om de resulterende fout van φ te vinden. Wij nemen enkele van deze tabellen hieronder over.

TABEL XIIIa. De droge- en natte-bolthermometers zijn van gelijke nauwkeurigheid. Factoren waarmee deze nauwkeurigheid vermenigvuldigd moet worden om de resulterende nauwkeurigheid van de rel. vochtigheid te vinden ($C=0,5$). (In deze factoren zijn α en β verwerkt)

t' in °C	droge-boltemperatuur t in °C						
	20	25	30	35	40	45	50
10	10,5	7,1					
12	11,8	8,0	5,5				
14	13,1	9,0	6,2	4,4			
16	14,5	10,0	7,0	4,9	3,5		
18	16,1	11,1	7,7	5,6	4,0	2,8	
20	17,8	12,3	8,6	6,2	4,5	3,2	2,3
22		13,6	9,6	6,9	5,0	3,6	2,7
24		15,1	10,7	7,7	5,6	4,0	3,0
26			11,8	8,6	6,2	4,5	3,4
28			13,1	9,6	6,9	5,0	3,7
30			14,4	10,5	7,6	5,6	4,2
32				11,6	8,5	6,2	4,7
34				12,7	9,3	6,9	5,2
36					10,3	7,5	5,7
38					11,3	8,3	6,3
40					12,4	9,2	7,0
42						10,1	7,7
44						11,0	8,4
46							9,2
48							10,1
50							11,0

TABLE XIIIa. *Factors by which the errors in dry- and wet-bulb temperature should be multiplied in order to obtain the error in relative humidity, when both thermometers have the same error.*

TABEL XIIIb. De nauwkeurigheid van φ bij verschillende droge-boltemperaturen en relatieve vochtigheden wanneer de nauwkeurigheid van de droge- en van de natte-bolthermometer $0,1^{\circ}\text{C}$ bedraagt. ($C=0,5^{\circ}$ Δ $C=0$)

R. V. in %	droge-boltemperatuur t in °C						
	20	30	40	50	60	70	80
10	0,92	0,59	0,41	0,29	0,23	0,18	0,15
20	1,01	0,69	0,50	0,38	0,31	0,27	0,23
30	1,10	0,78	0,59	0,47	0,40	0,35	0,31
40	1,20	0,87	0,68	0,56	0,49	0,43	0,39
50	1,29	0,96	0,77	0,66	0,57	0,52	0,47
60	1,38	1,06	0,86	0,75	0,66	0,60	0,55
70	1,48	1,16	0,96	0,84	0,75	0,68	0,63
80	1,59	1,26	1,06	0,93	0,83	0,76	0,71
90	1,68	1,35	1,15	1,02	0,92	0,84	0,78
100	1,78	1,44	1,24	1,10	1,00	0,92	0,86

TABLE XIIIb. *Error of relative humidity at different dry-bulb temperatures and relative humidities when the error in wet-bulb temperature is $0^{\circ},1\text{C}$.*

FIG. 11. Grafiek ter bepaling van de factor waarmee de nauwkeurigheid der thermometers vermenigvuldigd moet worden om de nauwkeurigheid der gemeten relatieve vochtigheid te vinden. De thermometers hebben beide eenzelfde nauwkeurigheid. (De grafiek is gebaseerd op een psychrometerconstante $C=0,5$; $\Delta C=0$)

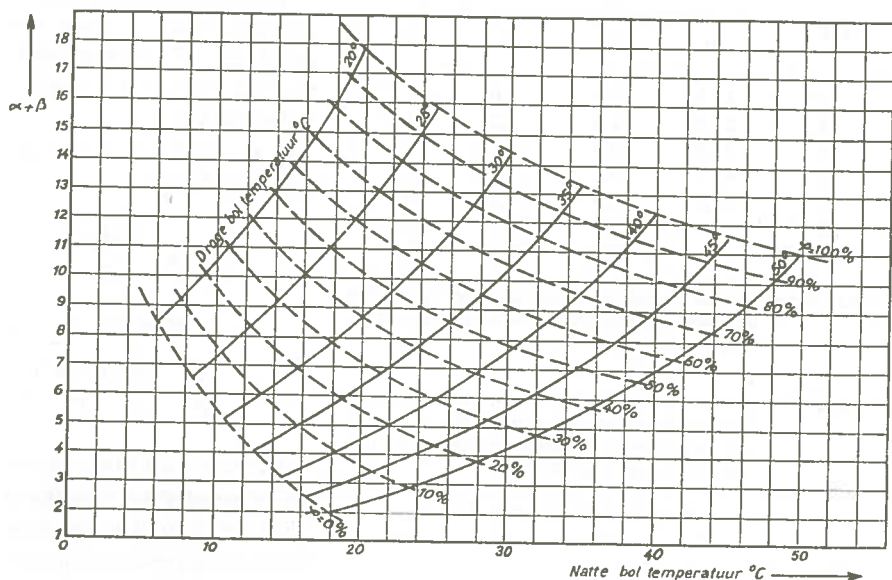


FIG. 11. Graph for determining a factor by which the error of the thermometers of a psychrometer should be multiplied to find the error in relative humidity, when both thermometers have the same error

Bij deze tabellen is aangenomen dat $C=0,5$ en $\Delta C=0$. Tengevolge van het niet-nul-zijn van ΔC neemt de fout van φ toe met de waarde

$$100 \frac{(T-T')}{E} \Delta C$$

Aan de nauwkeurigheid waarmee C bekend is moeten dus vooral hoge eisen gesteld worden wanneer $T-T'$ groot is en E klein is, m.a.w. bij lage temperatuur en bij geringe luchtvochtigheid.

VAN MEEL geeft nog een tabel voor de factoren, waarmee de fout van C vermenigvuldigd moet worden om de daaruit resulterende fout van φ te vinden.

In het ons uit microklimatologisch oogpunt interesserende temperatuur- en vochtigheidsgebied (droge-boltemperatuur beneden 40°C , vochtigheden boven 30%) kan deze factor tot een waarde van ongeveer 40 oplopen, normaliter heeft ze een waarde in de buurt van 10 à 20. Dit wil dus zeggen, 1 à 2, hoogstens 4% verschil in R.V. als gevolg van een ΔC van 0,01.

TABEL XIVa. Factoren ter bepaling der onnauwkeurigheid van φ tengevolge van de onnauwkeurigheid ΔC van de psychrometerconstante

$t-t'$	droge-boltemperatuur t in °C			
	20	30	40	50
2	11,4	6,3	3,6	2,2
4	22,9	12,6	7,2	4,3
6	34,3	18,9	10,8	6,5
8	45,7	25,2	14,5	8,6
10	51,1	31,4	18,1	10,8
12		37,7	21,7	13,0
14		44,0	25,3	15,1

TABEL XIVa. Factors for determining the error in relative humidity due to the error of the psychrometer-constant

TABEL XIVb. Factoren ter bepaling van de correctie van de factoren van tabel XIIIa wanneer de psychrometerconstante een van 0,5 verschillende waarde heeft

t'	droge-boltemperatuur t in °C			
	20	30	40	50
10	8,00			
12	8,69	3,09		
14	9,38	3,45		
16	10,06	3,80	1,32	
18	10,75	4,16	1,51	
20	11,44	4,51	1,70	0,54
22		4,86	1,89	0,56
24		5,22	2,08	0,76
26		5,56	2,28	0,86
28		5,93	2,47	0,97
30		6,28	2,66	1,08
32			2,86	1,19
34			3,04	1,30
36			3,23	1,40
38			3,43	1,51
40			3,62	1,62
42				1,73
44				1,84
46				1,94
48				2,05
50				2,16

TABEL XIVb. Factors for determining the correction of the factors of table XIIIa when the psychrometer-constant differs from 0,50

Wij nemen een gedeelte van deze tabel eveneens hier op (tabel XIVa).

Tenslotte volgt er nog een correctie voor φ voor het geval dat C aanmerkelijk van de waarde 0,5 afwijkt (tabel XIVb).

Is $C = 0,5 + \gamma$ dan is de correctie-factor

$$\text{voor } \alpha : \frac{100 \gamma}{E}$$

en voor $\beta :$

$$100 \gamma \left(\frac{1}{E} - \frac{B (T - T'')}{E T^2} \right)$$

Evenals VAN MEEL geven wij hieronder een voorbeeld voor een nauwkeurigheidsberekening, evenwel aangepast aan een microklimatologisch geval.

Stel men meet met een droge- en een natte-bol-thermometer, die beide nauwkeurig zijn tot op 0°,1 C. Men vindt een droge-bol-temperatuur van 28°,2 ± 0°,1, een natte-boltemperatuur van 22°,7 ± 0°,1. De psychrometerconstante bedraagt 0,47 ± 0,01.

De grafiek 11 geeft: $\alpha + \beta = \text{ca } 1,12$ voor $C = 0,5$.

Tabel XIVb geeft op deze waarde de correctie:

$$(\Delta C = 0,47 - 0,50) \times \text{ca } 7 = -0,03 \times 7 = -0,2.$$

$$\text{Dus } \alpha + \beta \approx 11,2 - 0,2 = 11,0 \text{ voor } C = 0,47.$$

Voor de onnauwkeurigheid ΔC van $C (=0,01)$ komt er volgens de tabel XIVa bij een factor van ca 20,

dus de fout in φ bedraagt $\Delta \varphi = 0,1 \times 11 + 0,01 \times 20 = 1,1 + 0,2 = 1,3\%$.

Men ziet ook hieruit weer, dat fouten van 1 à 2% in de relatieve vochtigheid gemakkelijk kunnen optreden als gevolg van kleine onnauwkeurigheden in de temperatuurbepaling en van onjuist beoordelen van de psychrometerconstante.

Door SPRENGER (17) zijn op de afleidingen van VAN MEEL enkele aanmerkingen gemaakt, o.m. op de toepassing van de formule van ANTOINE, doch op de grote lijn van het betoog en de *orde van grootte* van de te accepteren fout maakt dit geen inbreuk.

§ 6. DE INVLOED VAN DE BEREKENINGSMETHODE

Wij komen tenslotte nog even terug op een verdere moeilijkheid, die voortvloeit uit de toepassing van de reeds eerder vermelde methode – gemakshalve genoemd de methode van LANGLO – waarbij f bepaald wordt uit een *reeks* van waarnemingen van droge- en natte-boltemperatuur.

Men kan uit een reeks van 10 bepalingen van t en t' op 2 manieren een „gemiddelde” waarde van f over de waarnemingsperiode afleiden, nl.

- a. door bij ieder paar simultane t en t' -waarden met behulp van de tabel de bijbehorende f te bepalen en van de 10 gevonden f -waarden het gemiddelde te nemen;
- b. door uit de reeks der t -waarden en uit die der t' -waarden de gemiddelden $\bar{t}$ resp. $\bar{t}'$ te bepalen en in de tabel de f -waarde op te zoeken die toegevoegd is aan het paar $\bar{t}$, $\bar{t}'$.

Gezien het samengestelde verband tussen t en t' en E en E' , dus à fortiori tussen t en t' en f , en bovendien gezien de discontinuïteit van de psychrometer-tabel, is het begrijpelijk, dat de methoden a en b niet noodzakelijk tot eenzelfde f -waarde behoeven te leiden.

Hoewel een momentane aflezing van een thermometer in verband met de traagheid van het instrument *niet* de ware *momentane* temperatuur zal weergeven maar een soort van gemiddelde waarde van deze variabele over een zeker kort tijdsverloop, is het toch waarschijnlijk dat methode a het zuiverst de gemiddelde waarde van f over de meetperiode benadert, methode b werkt echter verreweg het snelst en zou dus praktische voordelen hebben. We moeten dus nagaan in hoeverre methode b een juiste waarde van f *gem.* oplevert. Aan enkele in de praktijk opgenomen psychrometerreeksen zullen wij nagaan van welke orde het verschil tussen de uitkomsten volgens methode a en b kan zijn.

Bij deze beide voorbeelden blijkt in verband met de afronding op hele % (de tabel geeft f in hele %) een verschil van 1% in de relatieve vochtigheid op te treden al naar men f_{gem} bepaalt volgens methode *a* dan wel volgens methode *b*. Methode *b* blijkt zowel een *hogere* als een *lagere* waarde te kunnen geven dan methode *a*. Op zichzelf lijkt een onnauwkeurigheid van 1% bij de bepaling van de relatieve vochtigheid niet erg belangrijk; men dient echter

Droge therm.	Natte therm.	f
22,9	18,9	69
23,1	19,1	69
23,1	19,0	68
23,1	19,0	68
23,2	19,1	68
23,2	19,2	69
23,3	19,0	67
23,5	19,5	69
23,5	19,5	69
23,5	19,4	68
Gem. 23,2	19,2	$f_a = 68,4\%$ afgerond $f_a = 68\%$
$f_b = 69\%$		

Voorbeeld 1

Reeks psychrometerwaarnemingen uitgevoerd boven groene tarwe op aarhoogte bij wisselende bewolking, 6/10 Cu en zwakke N. wind, tijd 14^h.20, datum 15-7-49.

Voorbeeld 2

Reeks opgenomen in heggegebied, 13-7-49, zonnig weer, vrij zwakke NE wind, tijd 14^h.24.

Droge therm.	Natte therm.	f
27,6	19,4	46
27,6	19,4	46
27,6	19,3	46
27,6	19,3	46
27,5	19,4	47
27,5	19,4	46
27,5	19,4	47
27,5	19,4	47
27,6	19,5	47
27,6	19,6	47
27,6	19,4	$f_a = 46,6\%$ afgerond $f_a = 47\%$
$f_b = 46\%$		

te bedenken, dat het in de praktijk van het microklimatologisch onderzoek vaak gaat om het bepalen van *kleine verschillen* bijvoorbeeld tussen de relatieve vochtigheden op 2 verschillende punten, en in dat geval kan een fout van 2%, zoals dan in een ongunstig geval kan optreden wanneer de ene f toevallig naar boven en de andere naar beneden wordt afgerond, wel degelijk belangrijk zijn voor de significantie van het gemeten verschil.

SAMENVATTING

Een betrouwbare bepaling van de luchttemperatuur met behulp van kwikthermometers wordt bemoeilijkt door stralingsinvloeden en door de aan het instrument inhaerente traagheid, terwijl bij de aflezing „van nabij” ook de aanwezigheid van de waarnemer een storende invloed kan uitoefenen. Een en ander kan vooral bij microklimatologische metingen van temperatuur en vochtigheid met droge en natte kwikthermometers hinderlijk zijn.

HOOFDSTUK I: Langdurig voortgezette vergelijking van de aanwijzing van een thermometer, geplaatst in een *kleine hut* die speciaal met het oog op microklimatologische metingen is ontworpen, met die van een thermometer in een hut voor normale klimatologische metingen, toonde aan, dat in de laatste gemiddeld *te hoge* temperaturen werden gemeten. Daar de „grote” hut geen verschil van enige betekenis vertoonde met een z.g. STEVENSON-hut, volgt hieruit dat ook de in dit normale hut-type gemeten temperaturen als regel te hoog zullen worden gevonden. Het verschil tussen grote en kleine hut was van de orde van $0,17^{\circ}\text{C}$. Het wordt verklaard door het blijven hangen van een warme luchtbel onder het dak van de grote hut. Een soortgelijke oorzaak moet in het spel zijn bij de STEVENSON-hut. Anderzijds is ook de kleine hut niet vrij van fouten, met name laten zowel de isolatie tegen stralingsinvloeden als de ventilatie te wensen over; hieruit is te verklaren dat bij zonnig weer en bij geringe windsnelheden de verschillen tussen grote en kleine hut verminderen, doordat dan de thermometer in de kleine hut ook te hoog aanwijst. Uit de vergelijking van de thermometer in de kleine hut met de droge-bolthermometer van een ASSMANN-psychrometer bleek, dat ook deze laatste niet steeds gerekend kan worden de ware luchttemperatuur aan te wijzen.

HOOFDSTUK II: Een aantal in de praktijk gebruikte typen van kleine hutten is onderling vergeleken; zij bleken alle in meerdere of mindere mate met fouten op het gebied van reflectie en ventilatie behept, een „ideaal” type is nog niet gevonden.

HOOFDSTUK III: Een omschrijving wordt gegeven van de betekenis van de termen „nauwkeurigheid” en „betrouwbaarheid”, zoals ze hier gebruikt worden.

De nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van geventileerde psychrometers volgens ASSMANN zijn nader onderzocht. Een goed *reflecterend vermogen* van de huls blijkt noodzakelijk voor juiste aanwijzingen. Bovendien kunnen aanzienlijke afwijkingen (van de orde van 1°C) optreden bij *directe zonbestraling*,

vooral wanneer deze gepaard gaat met *geringe windsterkte*. Speciaal bij het gebruik van ASSMANN-psychrometers in de luchtlaag vlak bij de grond is met de mogelijkheid van grote fouten rekening te houden. Versterking van de aspiratie zou hier een verbetering kunnen betekenen, ingeval de hieruit voortvloeiende versterkte menging der luchtlagen geen bezwaar oplevert.

Psychrometers van *verschillend type* leveren geen vergelijkbare uitkomsten.

De wijze van bevochtiging van het kousje van de natte bol en de toestand waarin dit kousje verkeert zijn punten van belang voor het verkrijgen van betrouwbare resultaten.

Om de invloed van snelle fluctuaties in de luchttemperatuur en in de verdampingssnelheid van het natte-bol oppervlak uit te schakelen, werd door LANGLO aanbevolen ter bepaling van de relatieve luchtvochtigheid een *reeks* psychrometeraflezingen met korte tussenpozen uit te voeren. Een reeks van 10 aflezingen blijkt in de meeste gevallen voldoende. Bij toepassing van deze methode kan echter een belangrijke fout ontstaan door verwaarlozing van de temperatuurverhoging, die de thermometers ondergaan tengevolge van de uitgestraalde lichaamswarmte van de waarnemer. Deze temperatuurverhoging kan zeker enige tiendedelen van graden C bedragen. Ter vermindering van deze fout wordt bij vaste opstelling aflezing op afstand met behulp van een kijker aanbevolen.

De invloed van de „persoonlijke fout” van de waarnemer daarentegen werd niet belangrijk bevonden; tussen de meetresultaten van 4 waarnemers van uiteenlopende geoefendheid werden geen significante verschillen aangetroffen.

De bepaling van de relatieve vochtigheid uit de aanwijzingen van droge- en natte-bolthermometer geschiedt aan de hand van psychrometertabellen. Deze tabellen berusten op de klassieke psychrometerformule; aan de hierin voorkomende z.g. psychrometerconstante C wordt de waarde 0,50 toegekend. Nieuwere onderzoekingen, waarvan met name die van VAN DER HELD worden vermeld, hebben echter aangetoond dat voor de gebruikelijke typen psychrometers de waarde $C=0,50$ te hoog is; het maximum is wel $C=0,49$. Een onjuiste waarde van C kan een fout van de orde van 1% in de gemeten relatieve vochtigheid betekenen. Voor *nauwkeurige* metingen dient dus in feite bij elke gebruikte psychrometer door ijking de juiste waarde van C te worden vastgesteld.

Een overzicht wordt gegeven van berekeningen, door VAN MEEL opgezet, over de fout in de bepaling van de relatieve vochtigheid tengevolge van onnauwkeurigheden in de aanwijzing der thermometers en gebruik van een onjuiste waarde van de psychrometerconstante. Onder microklimatologische omstandigheden kunnen deze onnauwkeurigheden fouten van de orde van 1 à 2% in de relatieve vochtigheid veroorzaken.

Verder kunnen verschillen van deze zelfde grootteorde optreden bij toepassing van de hiervoor genoemde methode van LANGLO. Bepaling van de relatieve vochtigheid op twee manieren uit een reeks van 10 achtereenvolgende aflezingen geeft verschillen van 1 à 2%, waarbij afhankelijk van de samenstelling der reeksen nu eens de ene, dan weer de andere methode de hoogste uitkomst oplevert.

SUMMARY

Accurate determination of air temperature with mercury thermometers is hampered by influences of radiation and by the lag of the instruments. Near-by readings of the instrument moreover suffer from local disturbances of the temperature field caused by the observer's body-heat.

These difficulties are particularly troublesome in the case of *micro-meteorological* measurements of temperature and humidity with dry- and wet-bulb mercury thermometers.

CHAPTER I: A long series of comparative measurements of air-temperature with thermometers placed respectively in a screen for normal climatological observations and in a very small type of louvred plastic screen ($12,5 \times 12,5 \times 15$ cm; fig. 1), designed especially for micro-meteorological purposes, showed that the latter gave in the mean somewhat lower readings (comp. Table I). As the big screen showed no significant deviation from the normal STEVENSON-screen, it is obvious that as a rule this type of screen also gives too high temperature-values. The mean difference in the 10-day means of temperature over a period of 20 months between the two screens mentioned (the normal and the small type) amounted to $0^{\circ},17\text{C}$. The standard-deviation of the differences (comp. Table II) also was $0^{\circ},17\text{C}$. The observations took place daily at 8.—, 11.— and 14.—hours(local time). The too high temperatures in the big screen are accounted for by assuming that a mass of warm air is captured under the roof of the screen. A similar explanation has to be accepted in the case of the STEVENSON-screen.

On the other hand the small screen is not by any means faultless either: neither the insulation against radiation nor the ventilation are perfect. From this it is to be understood, that during sunny weather and at small wind-velocities the difference between the big and the small screen decreases because of the thermometer in the small screen giving too high values as well.

On comparing the thermometer in the small screen with the dry-bulb thermometer of an ASSMANN-psychrometer it appeared, that the latter does not always indicate the true air temperature either.

CHAPTER II: A number of other types of small screens used for micro-meteorological purposes have been compared with each other under identical circumstances. All of them proved to be more or less subject to faults regarding reflection and ventilation. Really reliable measurements of air-temperature therefore seem to be unobtainable in this way.

CHAPTER III: A description is given of the meaning of the terms "*precision*" and "*reliability*" as used in this publication. The precision and the reliability of ventilated ASSMANN-psychrometers have been studied in detail. A high reflecting quality of the surface of the metal shield of the psychrometer proved to be necessary for reliable readings. If the instrument is exposed to direct sunshine, deviations of a magnitude of 1°C may occur, particularly at low wind velocities. Especially when the instrument is mounted close to the ground, the possibility of considerable errors must be taken into account. Improvement of aspiration (in cases where the inevitable increase of mixing of the air does not matter) would to a certain extent remove these difficulties.

Psychrometers of different types do not yield comparable results.

The method of moistening the wick of the wet-bulb thermometer and the cleanness of the wick are conditions important for obtaining reliable results.

In order to avoid the influence of rapid fluctuations of air temperature and of the velocity of evaporation, LANGLO recommended to perform a *series* of psychrometer readings at short intervals. A series of 10 readings was shown to be sufficient in most cases (comp. fig. 9). However, with this method a serious error may arise by neglecting the increase of air-temperature due to the transfer of heat from the body of the observer. This increase may certainly amount to some tenths of a degree Celsius (centigrade) (comp. fig. 10). To avoid these difficulties it is recommended to perform the readings of the thermometers by means of field-glasses.

On the contrary the influence of the "personal error" of the observer proved to be negligible: no significant differences were found between the results obtained by four observers enjoying different degrees of observational training.

Determination of relative humidity from the readings of dry- and wet-bulb thermometers is done by means of psychrometer-tables. These tables are based on the well-known psychrometer-formula. The so-called 'psychrometer-constant' in this formula is given the value $C=0,50$. Recent investigations however, among others those of VAN DER HELD, have shown that for the common types of psychrometers this value is too high; better results are to be obtained by putting $C=0,48$ or $C=0,49$. A wrong value of C may involve an error of about 1% in relative humidity. Therefore to obtain accurate measurements the exact value of C for each separate psychrometer has to be established, for instance by calibrating the psychrometer against a reliable dew-point hygrometer.

A survey is given of computations made by VAN MEEL to determine the error in the relative humidity due to inaccurate thermometer-readings and to the use of an erroneous value of the psychrometer-constant (comp. Tables XIII

and XIV). Under micro-climatological circumstances these inaccuracies may involve errors of the order of 1% to 2% in relative humidity.

Further it is to be expected that errors of the same order will be found by applying LANGLO's method of measuring mentioned above. Computation of the relative humidity according to two different principles from a series of 10 readings [*a.* taking the mean of dry- resp. wet-bulb temperature from the whole series and looking up in the psychrometertable the relative humidity belonging to these mean values; *b.* looking up the relative humidities belonging to each separate pair of temperature readings and taking the mean of these values for the true relative humidity], provides values which differ by 1% to 2%; it depends upon the composition of the series, which of both methods provides the highest value.

LITERATUURLIJST

1. WILD, H. Über die Bestimmung der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft – M.Z. 1884, p. 433.
2. WILD, H. Über die Bestimmung der wahren Lufttemperatur – M.Z. 1885, p. 161.
3. WILD, H. Neue Versuche über die Bestimmung der wahren Lufttemperatur – Repert. f. Met. 10, 4, 1885.
4. WILD, H. Weitere Versuche über die Bestimmung der wahren Lufttemperatur – Repert. f. Met. 10, 10, 1887.
5. FÖYN, N. J. Das Klima von Bergen, II – Bergens Mus. Aarbok 1915-'16, 4, p. 19-26.
6. MAWLEY, E. Report on temperatures in two different patterns of Stevenson-screens – Q. J. Roy. Met. Soc. 1884, p. 1.
7. LANGLO, K. Investigations on the air-temperature observed in various types of norwegian thermometer screens – Met. Annaler 2, 12, 1947, p. 387.
8. LANGLO, K. The effects of the solar eclipse of July 1945 on the air temperature and an examination of the lag of a thermometer exposed in a screen – Met. Annaler 3, 3, 1949, p. 59.
9. FORSTER, H. Über Fehler, die bei Lufttemperaturmessungen infolge von Wärmeleitung auftreten – M.Z. 1940, p. 334.
10. BERGER, P. Nouvelle amélioration de l'abri météorologique – Ann. d. Schweiz. Met. Zentralanst. 79, 1942, Anh. p. 15.
11. GLOYNE, R. W. & L. P. SMITH Shielded thermometer mounts – Met. Mag. 80, 949, 1951, p. 203.
12. ARZT, TH. Messungen der Extremtemperaturen in kleinen Hütten und ihre Fehler – Met. Rundschau 4, 5/6, 1951, p. 103.
13. GEIGER, R. & W. SCHMIDT Einheitliche Bezeichnungen in klein-klimatischer und mikro-klimatischer Forschung – Biokl. Beibl. 1, 1934, p. 153.
14. VAN DER LINDE R. J. & J. P. M. WOUTENBERG On the microclimatic properties of sheltered areas – Med. en Verh. K.N.M.I., A 56, 1950, pl. III v. p. 64.
15. VAN DER HELD, E. F. M. De psychrometerconstante – Med. Warmtestichting, No 10, 1937, p. 8.
16. VAN MEEL, D. A. De fout in de bepaling van de relatieve vochtigheid ten gevolge van onnauwkeurigheden in de temperatuurmetingen met droge- en natte-bolthermometers en onnauwkeurigheid van de psychrometerconstante – De Ingenieur, 64, 35, 1952, Ch. p. 85.
17. SPRENGER, J. J. I. Berekening van de fout in de bepaling van de relatieve vochtigheid ten gevolge van onnauwkeurigheden in de temperatuurmetingen met droge- en natte-bolthermometers en onnauwkeurigheid van de psychrometerconstante – De Ingenieur, 64, 41, 1952, Ch. p. 96.
18. DE WIT, C. T. An oscillating psychrometer for micro-meteorological purposes – Appl. Sci. Res. A 4, 2, 1953, p. 120.

19. HECKERT, L.

Die Bedeutung kurzfristiger Temperaturschwankungen für die üblichen Temperatur- und Feuchtemessungen mit dem Aspirationspsychrometer nach Assmann – Zs. f. Met. 7, 1, 1953, p. 19.

20. HECKERT, L.

Zur Frage der Brauchbarkeit der Assmann-Thermometer für die üblichen Temperatur- und Feuchtemessungen auf Grund empirischer Trägheitsbestimmungen – Zs. f. Met. 7, 9, 1953, p. 259.

40. C. Braak. Het klimaat van Nederland. F. Zonneschijn en bewolking. — The climate of the Netherlands. F. Sunshine and cloudiness. 1937. (51 blz. met 1 fig.)
41. C. Braak. Het klimaat van Nederland. G. Vochtigheid. — The climate of the Netherlands. G. Humidity. 1938. (42 blz. met 2 fig.)
42. C. Braak. Het klimaat van Nederland. H. Mist. — The climate of the Netherlands. H. Fog. 1939. (49 blz. met 6 fig.)
43. C. Braak. Het klimaat van Nederland. B. (vervolg). Luchttemperatuur. — The climate of the Netherlands. B. (continued). Air temperature. 1940. (44 blz. met 1 fig. en 7 platen)
44. D. Kuyper. Onweersfrequentie in Nederland 1907—1936. Metingen van het luchtelectrisch potentiaalverval. — English summary. 1940. (134 blz. met 12 fig. en 2 platen)
45. C. Braak. Over de oorzaken van de tijdelijke en plaatselijke verschillen in den neerslag. — Über die Ursachen der zeitlichen und örtlichen Unterschiede des Niederschlags. 1940. (57 blz. met 5 fig. en 1 plaat)
46. C. Braak. Het klimaat van Nederland. D. (vervolg). Wind. — The climate of the Netherlands. D. (continued). Wind. 1942. (109 blz. met 12 fig.)
47. C. Braak. Het klimaat van Nederland. B. (vervolg). Grondtemperatuur en minimumtemperatuur nabij den grond en nachtvorst. 1943. (40 blz. met 1 fig.)
48. C. Braak. Invloed van den wind op regenwaarnemingen. — Influence of the wind on rainfall measurements. 1945. (74 blz. met 12 fig.)
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)
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.)
51. S. W. Visser. Weersverwachtingen op langen termijn in Nederland. — Long range weather forecasts in the Netherlands. 1946. (143 blz. met 25 fig.)
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)
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)
54. C. Kramer. Electrische ladingen aan berijpte oppervlakken. — Electrical charges on rime-covered surfaces. 1948. (128 blz. met 17 fig. en 1 afb.)
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.)
56. R. J. v. d. Linde en J. P. M. Woudenberg. On the microclimatic properties of sheltered areas. The oak-coppice sheltered area. — Over de microklimatische eigenschappen van beschutte gebieden. Het landschap met eikenhakhoeden. 1950. (151 blz. met 52 fig.)
57. C. Kramer, J. J. Post en W. Wilten. Klimaat en brouwergerstteelt in Nederland. — Climate and growing of malting-barley in the Netherlands. 1950. (149 blz. met 27 fig.)
58. Dr W. van der Bijl. Toepassing van statistische methoden in de klimatologie. — Applications of statistical methods in climatology. (197 blz. met 19 fig.)

zeks MEDEDELINGEN EN VERHANDELINGEN zijn bij het Staatsdrukkerij-verijbedrijf nog verkrijgbaar de volgende nummers:

n Everdingen. Oberflächentemperatur — Beobachtungen in der Nord- ptember 1904—Augustus 1905. (11 blz. met 3 platen)	f 0,42
n Everdingen. Drachenbeobachtungen an Bord I. Ms. Pantzerschiff „de ngestellt vom Marine-Leutnant A. E. Rambaldo während der Fahrt Indien und während des Aufenthalts in West-Indien. Dez. 1908—Juli blz. met 2 platen)	0,32
Gallé. Etude critique sur la méthode de prévision du temps de Guil- l. (25 blz.)	0,32
n Rijkevorsel. Konstant auftretende secundäre Maxima und Minima rlichen Verlauf der meteorologischen Erscheinungen. IX. 1913 (33 blz. aten)	0,85
X. 1914. (23 blz. met 3 platen)	0,42
n Vleuten. Over de dagelijkse variatie van het aardmagnetisme. 1917. blz. met plaat)	1,05
. van Riel. The accuracy of barometer readings on board of moving l. (8 blz.)	0,21
houte. Ein Registriertheodolit für Pilotballone. 1921. (41 blz.)	0,85
n Dijk. Activity of the earth's magnetism and magnetic characterization 922. (28, XXIII blz. met plaat)	0,95
l. Gallé. IV. Temperatur van water en lucht. — Temperature of water 928. (34 blz. met 6 platen)	0,80
. van Riel. The influence of sea disturbance on surface temperature. blz. met plaat)	0,32
n Everdingen. Ueber die Ausbreitung des Schalles bei der Versuchs- in Oldebroek am 28 Oktober 1922. (69 blz. met 3 platen)	1,15
aak. Het klimaat van Nederland. B. (vervolg). Lucht- en grondtempe- The climate of the Netherlands. B. (continued). Air and earth e. 1930. (78 blz. met 2 platen)	1,05
braak. Het klimaat van Nederland. A. (vervolg). Neerslag. Tweede Nieuwe bewerking der tabellen van nr. 15. — The climate of the ls. A. (continued). Precipitation. Second part. Revision of the tables 1934. (53 blz. met 4 platen)	0,65
. van Riel. Oppervlaktetemperatuur in het Noord-Westelijk gedeelte Atlantischen Oceaan. — Surface temperature in the North-Western e Atlantic Ocean. 1933. (92 blz. met 3 kaarten en 4 grafieken in de uitsl. kaarten)	1,75
aak. Het klimaat van Nederlandsch West-Indië. — The climate of the ls West Indies. 1935. (120 blz. met 20 kaarten en grafiek)	1,05
sser. De frequentie van halo-waarnemingen bij de zon in Nederland, ijk van 1914—1931. 1936. (95 blz.)	1,05
leeker. De gemiddelde hoogtewind boven de Bilt volgens loodsballon- ngen. 1922—1931. (126 blz.)	1,15
aak. Het klimaat van Nederland. E. Verdamping. — The climate of lands. E. Evaporation. 1936. (50 blz. met 1 fig.)	0,42