

K O N I N K L I J K N E D E R L A N D S
M E T E O R O L O G I S C H I N S T I T U U T

D e B i l t

W E T E N S C H A P P E L I K R A P P O R T

W.R. 73-3

H.M. de Jong

Automatisering van
radiosonde/radarwaarnemingen

De Bilt, 1973

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 73-3 (MO)

U.D.C.: 331.875.4 :
551.501.42 :
551.501.89 :
551.508.822

I N H O U D

1. Inleiding
 2. Semi-automatisering van radiosonde/radarwaarnemingen
 3. Bewerkingsprocedure en methodieken
 4. Het principe van vereffening
 5. Toepassing op de windberekening
 6. Numerieke analyse
 7. Verdere thermodynamische informatie
 8. Het informatie verwerkend proces
 9. Besluit
- Literatuur
- Bijlagen

S U M M A R Y

By their nature radiosonde/radar observations are ideally suited for automation. Because of a large volume of manual work which is repetitious and routine, the argument for automation is obvious.

This report describes the main features of an information processing system as developed for operation in the upper-air program at De Bilt.

The present design is to be considered as a semi-automatic process in view of the preparation of the raw data by manual handling prior to the final processing by computer. Full automation awaits the development of a "new generation upper-air system".

The system consists of an assemblage of separate modules, the operational function of which comprises data screening, data reduction, coding, archiving and the assessment of climatological summaries.

Special attention is paid to the numerical aspects of the data reduction and the description of a new computational algorithm. This algorithm is based on an application of the theory of adjustment of observations in the overdetermined system of synchronous radiosonde/radar measurements. The method was difficult to access for manual operation, but turned out to be easily applicable by electronic means. Conceptually the new approach may be specialized to render one of the traditional computational procedures.

The semi-automatic process came into operation in September 1972.

C O N T E N T

1. Introduction
2. Semi-automation of radiosonde/radar observations
3. Data-reduction procedure and methodology
4. The principle of adjustment of observations
5. Application to the wind computation
6. Numerical analysis
7. Additional thermodynamic information
8. The information processing system
9. Conclusion

Literature

Appendixes

LEGENDS TO FIGURES

- Fig. 1 Block diagram automation radiosonde/radar observation* (p. 4).
- Fig. 2 Geometry of a synchronous radiosonde/radar measurement. (p. 12).
- Fig. 3 Spaces in the radar domain, where one of the modes indicated offers the most accurate wind profile. (p. 13).
- Fig. 4 Geometry of the observation. (p. 19).
- Fig. 5 Projection balloon trajectory on the earth's surface. (p. 19).
- Fig. 6 Isopleths of the standard vector error of the wind in the vertical plane (m.s^{-1}).
- (a) height-elevation mode;
 - (b) range-elevation mode;
 - (c) height-range mode;
 - (d) adjustment.
- $\sigma_a = \sigma_\epsilon = 0.1^\circ$; $\sigma_r = 25 \text{ m}$; $\sigma_h = 20 \text{ m}$ (p. 27).
- Fig. 7 Detailed geometry of the radar set-up. (p. 33).
- Fig. 8 Isopleths of the standard error $\sigma_{h,\text{sonde}}$, $\sigma_{h,\text{radar}}$ and σ_h .
- (a) radiosonde; (b) radar; (c) both with adjustment.
- $\sigma_r = 25 \text{ m}$; $\sigma_\epsilon = 0.1^\circ$; $\sigma_{h,\text{sonde}} = 50 (e^{0.00013H} - 1)$. (p. 37).
- Fig. 9 Analysis to describe the smoothing operation. (p. 40).

1. Inleiding

In de meteorologische praktijk vormt de meting van fysische parameters in de vertikaal door middel van radiosonde/radar waarnemingen een belangrijk hulpmiddel ter bepaling van de toestand in de hogere luchtlagen. Worden dergelijke waarnemingen ongeveer gelijktijdig en met regelmatige tussenpozen verricht in een wereldomvattend netwerk van waarnemingspunten, dan verkrijgt men de nodige informatie om het verloop van de atmosferische toestand te beschrijven. Men kan bovendien trachten, bijv. op numerieke grondslag, dit verloop enige tijd vooruit te extrapoleren.

De laatste jaren heeft de techniek van de meting weinig noviteiten te zien gegeven. De drie elementen luchtdruk, temperatuur en vochtigheid worden in situ bepaald met een radiosonde. De wind wordt indirect gemeten door de baan te volgen, die de opstijgende ballon in de vrije atmosfeer aflegt. Dit laatste geschiedt door peiling van een aan de ballon bevestigde reflector met een automatisch volgende radar.

Voor wat de bewerkingsprocedure van de meetresultaten betreft, komen de laatste tijd nieuwe methodieken in gebruik. Zo werd in ons land in 1961 de bewerkingsprocedure in toepassing gebracht, waarbij de luchtdruk wordt berekend in plaats van gemeten, de zgn. rasonneer-methode. Door integratie van de statische grondvergelijking kan namelijk de luchtdruk worden berekend uit de radargegevens en de (virtuele) temperatuur.

Een reden tot invoering van de rasonneer-methode was, dat de nauwkeurigheid van de drukmeting vooral op grote hoogte, zeg boven 20 km, te wensen overlaat vergeleken met de radarhoogte.

Een andere motivering was, dat met het rasonneren de bewerking tot het springpunt voltooid kan worden.

Bij de in gebruik zijnde Engelse sonde (MARK IIB) komt het namelijk veelvuldig voor, dat door de te geringe ventilatiesnelheid op grote hoogte het schakelen tot stilstand komt, zodat slechts één van de drie sensoren nog gegevens doorseint. Volgens de traditionele methode is de bewerking tot het springpunt dan niet meer mogelijk. Door een eenvoudige technische ingreep kan echter worden bereikt,

dat bij voortijdige beëindiging van het schakelen in meer dan 90% van de gevallen het temperatuurschakelcircuit gesloten wordt en tot het springpunt gesloten blijft. De bewerking kan dan uitsluitend nog met de rasonneermethode tot het springpunt worden voortgezet.

Bij een nadere beschouwing van de meettechniek blijkt, dat het systeem van gecombineerde, synchrone radiosonde/radar waarnemingen een overbepaald systeem is, in die zin, dat er meer parameters worden gemeten dan strikt noodzakelijk is. Door De Jong [1966] is aangetoond dat in zulk een overbepaald systeem een procedure kan worden ontwikkeld, die toch alle informatie in de bewerking betreft en die volgens een bepaald meetnauwkeurigheidskriterium optimale resultaten presenteert. Deze procedure is gebaseerd op de toepassing van de theorie van vereffening. De rekenarbeid is echter zo omvangrijk, dat deze procedure voor handbewerking niet in aanmerking komt.

Inmiddels is het niet te verwonderen, dat de nieuwste ontwikkeling in een richting gaat van geautomatiseerde bewerking door middel van elektronische data processing. In vele staten wordt hieraan gewerkt (USA, Scandinavië, Engeland, Zwitserland).

De bedoeling is in het al gedeeltelijk gemechaniseerde radiosonde/radar waarnemingssysteem de leemte, tussen de registratie van de meetsignalen en de verspreiding van de gegevens via internationale telecommunicatiekanalen door automatisering van de bewerking te overbruggen.

In 1971 werd op het KNMI besloten deze semi-automatisering ter hand te nemen. Dit systeem kwam in de zomer van 1972 gereed en werd operationeel op 1 september 1972.

Dit rapport schetst de architectuur van het ontwikkelde informatieverwerkende systeem. Het beschrijft in hoofdzaak de numerieke aspecten van het betreffende systeem. Er wordt niet ingegaan op details van de systeemcomponenten, aangezien deze met de daarbijbehorende richtlijnen voor het gebruik zijn vastgelegd in een instructie.

Door de grote omvang van de software moet ook van een gedetailleerde programmadokumentatie worden afgezien en worden verwezen naar het oorspronkelijke programmapakket.

2. Semi-automatisering van radiosonde/radar waarnemingen

Van nature leent de bewerking van routine radiosonde/radar waarnemingen zich bij uitstek voor automatisering. In de USA heeft men becijferd, dat elke waarneming een kleine drieduizend handelingen vereist, die wegens de stringente voorschriften met betrekking tot de internationale berichtenuitwisseling binnen $2\frac{1}{2}$ uur verricht moeten worden.

Bovendien moeten achteraf nog vele aanvullende berekeningen worden uitgevoerd en ponswerk verricht voor opslag van gegevens in een voorgeschreven bestand (maand- en jaarstatistieken).

De automatisering omvat daardoor een omvangrijk project. De numerieke bewerking vormt slechts een klein onderdeel in het operationele systeem, omdat de informatieverwerking allerlei nevenfuncties omvat, zoals foutenherkenning, codering, archivering en statistische bewerking.

De automatisering heeft in principe de volgende voordelen:

- hogere kwaliteit van de "real time" en klimatologische gegevens;
- sneller ter beschikking komen van de "real time" produkten dan met manuele technieken;
- toepassing van geavanceerde bewerkingsmethodieken;
- feilloze codering en ponsing van internationaal voorgeschreven codes (TEMP, PILOT, CLIMAT) en nationale codes (dagelijks weerbericht);
- snelle en feilloze archivering;
- snelle statistische bewerking;
- vrijwel ongelimiteerde uitbreidingsmogelijkheid voor het produceren van aanvullende gegevens, zowel "real time" als achteraf;
- besparing mankracht.

Operationeel en computertechnisch heeft men de keuze tussen verschillende alternatieven. Men kan proces- of minicomputers inschakelen of men kan gebruikmaken van een centrale computer, al dan niet met time sharing. Afhankelijk van beschikbare faciliteiten kan men een operationeel systeem ontwikkelen, dat technisch en economisch verantwoord is.

Het systeem zoals dit op het KNMI thans funktioneert, kan door het volgende blokschema worden beschreven. (Figuur 1).

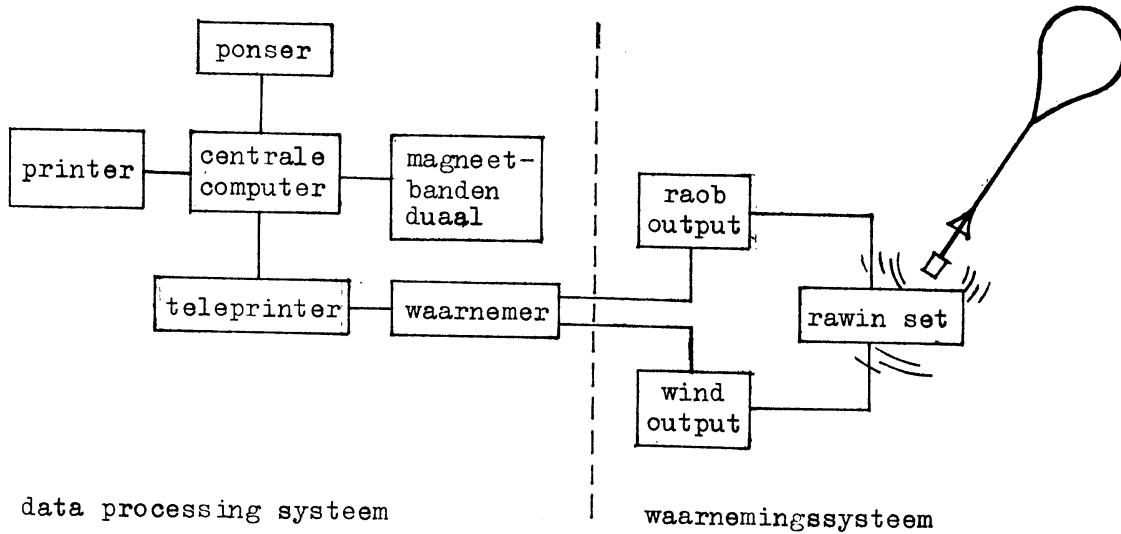


Fig. 1. Blokschema automatisering radiosonde/radar waarneming.

Duidelijk is te zien dat het systeem niet meer dan het predikaat semi-automatisering verdient, aangezien er een schakel is waar bepaalde werkzaamheden nog met de hand moeten worden uitgevoerd, met name het extraheren, converteren en ponsen van de primaire meetgegevens.

In principe is een verdere automatisering te realiseren en wel bij de zwakste schakel: de data inwinning. Deze zou kunnen bestaan uit het bemonsteren van de meetgegevens en vastleggen op ponsband of magneetband door een zgn. data logger.

Bij een nog complexer systeem kan de meetapparatuur direkt aan een meet- of minicomputer worden gekoppeld, die naast het verzamelen van de gegevens ook nog voorbewerkingen op de gegevens kan uitvoeren, zoals filteren, middelen, vergelijken en controleren. Deze kan dan direkt aan een centrale computer worden gekoppeld.

Automatisering van de data acquisitie van radargegevens is gemakkelijker te verwezenlijken dan van radiosondegegevens, omdat bij de laatste atmosferische stoorinvloeden niet gemakkelijk geëlimineerd kunnen worden.

Belangrijk is dat het te ontwikkelen informatie verwerkend proces zeer flexibel moet zijn om alle in de praktijk voorkomende typen waarnemingen te kunnen bewerken, ook als door calamiteiten afgeweken moet worden van routinewaarnemingen, bijv. in geval van een "split ascent": een radiosondewaarneming die korte tijd later wordt gevolgd door een afzonderlijke windbepaling.

Wil een projekt van deze omvang slagen, dan dient men in de operationele fase vooral bedacht te zijn op de betrouwbaarheid van het informatie verwerkend systeem. De automatisering heeft namelijk tot gevolg dat de diensten nogal ingrijpend gereorganiseerd moeten worden.

Voorwaarde is, dat deze reorganisatie kan steunen op een 100% bedrijfszekerheid van het systeem. Van belang is hierbij de beschikbaarheid van de computerapparatuur op de gewenste tijdstippen - $1\frac{1}{2}$ à 2 uur na de oplatingstijd - de bedrijfszekerheid (Engels: reliability) van de apparatuur en vooral de onderhoudbaarheid (Engels: maintainability). Belangrijk zijn de uitwijkmogelijkheden en de mate van foutenherkenning en correctie. In ieder geval zal, als aan deze voorwaarden niet voor 100% kan worden voldaan, de mogelijkheid moeten bestaan terug te vallen op de manuele operatie van de informatieverwerking.

Uit de gezichtshoek van de informatica was het noodzakelijk het projekt verschillende fasen te laten doorlopen alvorens tot implementatie kon worden overgegaan. Na de initialisering volgde een creatieve fase - **steemanalyse en formalisering** - daarna de realisatie met uitvoerige tests van de programmatuur. Ten slotte werd de evaluerende fase bereikt. Eén en ander bracht met zich mee, dat het programmapakket voor dit radiosonde/radar verwerkend proces omvangrijk werd en vrij gecompliceerd.

3. Bewerkingsprocedure en methodieken

3.1 Type waarneming

Men kan onderscheid maken tussen de volgende typen waarnemingen:

- a. radiosondewaarneming-sec;
- b. hoogtewindwaarneming-sec;
- c. gecombineerde radiosonde/radarwaarneming.

De gecombineerde waarneming kan men nog onderscheiden in:

- c.1 synchroon gecombineerde waarnemingen;
- c.2 a-synchroon gecombineerde waarnemingen.

Dit laatste onderscheid is belangrijk, omdat bepaalde methodieken alleen toepasbaar zijn als de metingen synchroon verlopen (zie 3.3).

Gebruikelijk is, dat op de standaardtijden 00.00 en 12.00 GMT een synchrone gecombineerde waarneming plaatsvindt (c.1), op de standaardtijden 06.00 en 18.00 GMT alleen een hoogtewindmeting (b). In geval van calamiteiten kan het evenwel voorkomen, dat alleen een radiosondewaarneming mogelijk is (a), bijv. als de radar buiten bedrijf is. Verder is het mogelijk, dat kort na elkaar twee opstijgingen plaatsvinden, bijv. a en b of c.1 en b. Zulk een waarneming behoort dan tot de categorie c.2. In het algemeen worden dergelijke "split ascents" noodzakelijk, als de oorspronkelijke radiosondewaarneming niet hoger komt dan 200 mbar en/of de radarpeiling niet hoger dan 100 mbar.

3.2 Digitale data processing

In het ontwerp is ernaar gestreefd dat de bewerking plaats kan vinden onafhankelijk van de gebruikte apparatuur. Het systeem-ontwerp is zodanig, dat in De Bilt metingen met zowel de MARK IIB-sonde als de USA-sonde kunnen worden bewerkt. Dit is mogelijk, indien de primaire meetgegevens worden gepresenteerd in een standaardvorm. Deze primaire meetgegevens bestaan uit temperatuur T, luchtdruk P (fakultatief) en relatieve vochtigheid U in markante punten (o.a. het grondpunt), voorts uit de minuutwaarden van de radar: azimuth, elevatie en "slant range". Daartoe moeten de radiosondesignalen eerst uit de registraties worden geëxtraheerd en met behulp van ijkgrafieken en correctietabellen (stralingscorrectie, traagheid) geconverteerd in "meetwaarden" voor P, T en U. De minuutwaarden van

de radar worden ontleend aan de klokwaarden of de waarden, die op de printer worden afgedrukt.

Opmerking: Bij de USA-sonde is het mogelijk het systeem-ontwerp zodanig te wijzigen, dat volstaan kan worden met de invoer van de frequentiewaarden. De conversie naar meetwaarden geschiedt dan in het proces zelf, omdat de ijkingen van de temperatuur en relatieve vochtigheid standaardijkingen zijn en de traagheids- en stralingscorrectie verwaarloosd kunnen worden.

De data-reduktie bestaat uit een omvangrijk rekenschema waarbij een groot aantal secundaire gegevens wordt herleid uit de primaire basisgegevens. De voornaamste gegevens bestaan uit de elementen, die in de internationale codes vercijferd moeten worden alsmede een aantal gegevens, die volgens nationaal voorschrift moeten worden gearhiveerd. Het totale bestand aan gegevens bevat meer dan 2000 elementen. In bijlage D is dit bestand in detail gespecificeerd. Uit dit bestand wordt later de informatie onttrokken, die nodig is voor de codering en voor speciale tabeluitvoer. Het bestand wordt verder door middel van informatieblokken op magneetband opgeslagen.

Belangrijk is dat bij de processing speciale voorzieningen worden getroffen om bepaalde tekortkomingen in de meting op te vangen. Bij de radarmeting komt het herhaaldelijk voor dat de meetserie wordt onderbroken. Oorzaak kan zijn dat het radardoel de eerste minuten nog niet is ingevangen. De radarbundel kan tijdelijk "out of focus" zijn. Verder kan het signaal zo zwak zijn, dat op handbediening moet worden overgegaan. Of men is genoodzaakt over te schakelen naar een reserveradar, als de in bedrijf zijnde radar in een dode sector peilt.

Ontbrekende temperatuur- en/of luchtdrukwaarden zijn niet toegestaan. Hiaten in de vochtigheidsmeting daarentegen worden wel toegelaten. Verder is het mogelijk dat de radarsignalen tot op grotere hoogte worden ontvangen dan de radiosondesignalen of omgekeerd. In het ontwerp is de programmatuur zodanig ontwikkeld, dat met deze onvolkomenheden rekening wordt gehouden.

Het is voorts van belang, welke methodiek wordt toegepast bij de bewerkingsprocedure.

3.3 Methodieken

Zoals in 3.2 werd uiteengezet, komen voor de processing de volgende primaire gegevens ter beschikking als functie van de tijd:

$$\text{radiosonde} \left[\begin{array}{ll} \text{temperatuur} & T = T(t) \\ \text{luchtdruk} & P = P(t) \\ \text{rel. vochtigheid} & U = U(t) \end{array} \right.$$

in karakteristieke punten $i = 0 \dots n$

$$\text{radar} \left[\begin{array}{ll} \text{azimuth} & \alpha = \alpha(t') \\ \text{elevatie} & \epsilon = \epsilon(t') \\ \text{slant range} & r = r(t') \end{array} \right.$$

in minuutpunten $j = 0 \dots N$

Bij synchrone metingen is $t = t'$.

Een eerste vereiste is, dat de belangrijkste aërologische parameters, bijv. P , T , U en wind \vec{v} , worden gerelateerd aan de hoogte Z boven (gemiddeld) zeeniveau.

Voor de constructie van de toestandskromme en de windhodograaf dient t te worden geëlimineerd en de hoogte gesubstitueerd, zodat men krijgt:

$$\begin{aligned} P &= P(Z) \\ T &= T(Z) \\ U &= U(Z) \\ \vec{v} &= \vec{v}(Z) \end{aligned}$$

Noot: In de meteorologie is het gebruikelijk de geometrische hoogte Z te vervangen door de geopotential H , uitgedrukt in geopotentiële eenheden.

De hoogte Z kan enerzijds uit de P, T, U gegevens worden bepaald door integratie van de statische grondvergelijking (Z_{sonde}), anderzijds uit de radargegevens met behulp van goniometrie (Z_{radar}).

Bij a-synchrone metingen is Z een afhankelijk veranderlijke grootheid. In geval van synchrone metingen echter kan men Z beschouwen als onafhankelijk veranderlijke met Z_{radar} als gemeten waarde. Het is dan mogelijk één van de variabelen P, T, U als afhankelijk veranderlijke te beschouwen en deze uit de statische grondvergelijking te berekenen in plaats van te meten. Men kan dan het betreffende meetelement (eventueel) uit de sonde verwijderen. Is dit het drukelement, dan heeft men te maken met de rasonneermethode.

Bij synchrone metingen heeft men derhalve de keuze uit vier methodieken:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I : } \{ P T U; Z \} \\ \text{II : } \{ T U Z; P \} \\ \text{III : } \{ U P Z; T \} \\ \text{IV : } \{ P T Z; U \} \end{array} \right] \begin{array}{l} \text{] ook a-synchroon} \\ \\ \text{synchroon} \end{array}$$

I is de traditionele methode, die vrijwel op alle aerologische stations wordt toegepast. De bewerking geschiedt manueel, waarbij o.a. gebruikgemaakt wordt van geschikte thermodynamische diagrammen (Stüve-diagram, Tephigram).

II is de rasonneermethode, die in De Bilt en op het Nederlandse weerschip in 1961 ingang gevonden heeft. De bewerking vindt plaats in het zgn. Rason-diagram.

De methoden III en IV zijn uit symmetrie-overwegingen toegevoegd maar nog nimmer op hun bruikbaarheid onderzocht (vgl. Bijlage A).

Het belang van een keuze uit deze methodieken hangt samen met de bereikbare nauwkeurigheid van de meetvariabelen. Bij foutloze metingen zouden de methodieken volkomen identieke resultaten moeten verschaffen. In de uiteindelijke keuze kunnen ook andere criteria een rol spelen, zoals hanteerbaarheid van de methode, het meetbereik van de sensors, kosten enz. De rasonneermethode is wat de hanteerbaarheid betreft de mindere van de traditionele methode maar daar staat tegenover, dat het meetbereik veel gunstiger is. Bij de Engelse sonde is de bewerking daardoor veelal tot het springpunt mogelijk.

De keuze wordt echter in hoofdzaak gemotiveerd door een meetnauwkeurigheidskriterium. Op hoogten boven 15 à 20 km kan met moderne radarapparatuur de hoogte een faktor 10 nauwkeuriger worden gemeten vergeleken met de overeenkomstige drukhoogte.

Het is intuïtief duidelijk dat op grond van een nauwkeurigheidskriterium de methodieken III en IV zeker niet voor toepassing in aanmerking komen. (Zie Bijlage A).

We hebben gezien dat we twee onafhankelijke waarden voor de hoogte (Z_{sonde} en Z_{radar}) kunnen vinden. In geval de meting synchroon is, zijn de twee waarden in stochastische zin realisaties van dezelfde parameter. Dit suggereert dat het systeem overbepaald is, d.w.z. men beschikt over meer meetgegevens dan is vereist. Terwijl in de methodieken I....IV één van de meetvariabelen terzijde werd gesteld, is het

logischer alle (redundante) informatie te gebruiken. Het probleem is dus of er een methodiek

$$V : \{ P T U Z \}$$

bestaat, welke volgens een bepaalde norm nog sterker de voorkeur verdient te worden toegepast dan de rasonneermethode.

Men kan bijv. op basis van een nauwkeurigheidsnorm voor de hoogte Z een lineaire combinatie:

$$Z = g_1 Z_{\text{sonde}} + g_2 Z_{\text{radar}}, \quad g_1 + g_2 = 1$$

introduceren. Het probleem is dan voor de gewichtsfactoren g_1 en g_2 kritische waarden te vinden, zodat de resulterende nauwkeurigheid in bepaalde zin optimaal wordt in het gehele meetbereik. Een dergelijke beschouwing kan ook worden gehouden met betrekking tot de windbepaling. Gelijksoortige vraagstukken treden in alle overbepaalde meetsystemen op en worden onderzocht in de theorie van vereffening. Het idee deze theorie op radiosonde/radar waarnemingen toe te passen, werd in 1964 op het KNMI geopperd en uitgewerkt door De Jong [1966]. Het resultaat is een rekenschema waarin alle meetinformatie een plaats vindt. Methode V zal met deze methode worden geïdentificeerd en worden aangeduid als "vereffeningsmethode".

Met de manipuleerbaarheid van deze methode is het, althans wat de handbewerking betreft, slecht gesteld. Bij elektronische processing is dit echter geen probleem meer. Bovendien heeft de toepassing van de vereffeningmethode het belangrijke voordeel, dat men door specialisering kan overschakelen op een eenvoudiger methodiek, bijv. door nul-stellen van een gewichtsfactor. Op deze wijze kan in het systeem-ontwerp één subroutine worden ontwikkeld, die zowel voor methode I, II als V is te gebruiken. In het definitieve ontwerp is dan ook methode V ingelast.

Voor de theorie kan worden verwezen naar De Jong [1966]. Daarin is een algoritme beschreven zonder het aardkrommingseffekt in rekening te brengen. Wel werd de oplossing voor een gekromd aardoppervlak vermeld. In dit rapport zal het principe van vereffening in verkorte vorm worden geschetst, tegelijk met een voorbeeld. Voorts zal het reeds in de publikatie voorkomende schema worden gereproduceerd, omdat dit schema als basis heeft gediend voor het systeem-ontwerp.

4. Het principe van vereffening

Stel dat een experiment wordt uitgevoerd om de waarde van een grootte f te bepalen, die een functie is van n onafhankelijke meetvariabelen $x_1 \dots x_n$:

$$f = f(x_1 \dots x_n)$$

In het bijzonder kan f de meetvariabele zelf zijn.

De waarde van f zal nooit exact zijn ten gevolge van fouten in de meting van de stochastisch te interpreteren meetvariabelen x_i .

Indien de precisiemaat voor de meetvariabelen x_i uitgedrukt wordt door de standaarddeviaties σ_i en de x_i zijn stochastisch onafhankelijk, dan kan de precisiemaat voor f worden bepaald door toepassing van de bekende foutenvoortplantingswet van Gauss:

$$\sigma_f = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_i \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

De meetnauwkeurigheid van f hangt blijkbaar niet alleen af van de σ 's van de argumenten, maar ook van de mathematische vorm van de expressie f . De meetnauwkeurigheid wordt daardoor mede afhankelijk van de lokatie van het meetpunt. Indien f niet-lineair is in de x_i , kunnen er zelfs gebieden voorkomen in het meetbereik waar f slecht of in het geheel niet meetbaar is ($\sigma_f \rightarrow \text{inf}$).

Verbetering van de meetnauwkeurigheid is dan alleen te bereiken door x_i nauwkeuriger te meten (reduktie van σ_i).

Indien het meetsysteem overbepaald is, zodat er relaties bestaan tussen de nominale x_i -waarden:

$$\varphi_i(x_1 \dots x_n) = 0 \quad (i = 1 \dots M), \quad (4.2)$$

dan kunnen voor f alternatieve expressies worden geformuleerd, die elk afzonderlijk bij evaluatie voor de exacte waarden van de x_i dezelfde funktiewaarde opleveren. Bij fouten in de x_i geven deze expressies echter verschillende benaderingen van de funktiewaarde f . De meetnauwkeurigheid is voor al deze equivalente expressies verschillend.

Het gevolg is dat in een bepaald meetbereik de meetnauwkeurigheid van de gezochte funktiewaarde afhankelijk wordt van de expressie, die men voor f kiest.

Door een keuze van de juiste expressie kan de meetnauwkeurigheid worden verbeterd.

Voorbeeld.

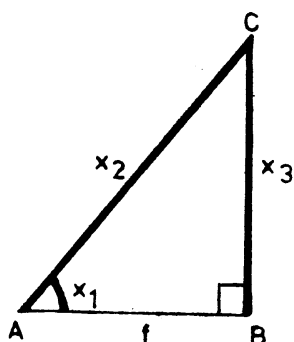


Fig. 2.

Geometrie van een synchrone radiosonde/radarmeting

Gegeven een rechthoekige driehoek ABC (Fig. 2).

Gemeten: hoek A en de zijden AC en BC.

Meetvariabelen: x_1 , x_2 en x_3 ($n = 3$).

Gevraagd: de zijde $f = AB$.

Het systeem is overbepaald, immers er bestaat een relatie van de vorm:

$$\varphi \equiv x_3 - x_2 \sin x_1 = 0 \quad (M = 1).$$

Equivalentente expressies voor f zijn:

$$f_1 = x_2 \cos x_1$$

$$f_2 = (x_2^2 - x_3^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$f_3 = x_3 \cotg x_1$$

$$f_4 = x_2 (\cos x_1 + \sin x_1) - x_3$$

enz.

f_1 is goed meetbaar in het gehele meetbereik

f_2 is slecht meetbaar voor $x_1 \approx \frac{\pi}{2}$

f_3 is slecht meetbaar voor $x_1 \approx 0$.

Opgemerkt kan worden dat het voorbeeld ontleend is aan de praktijk. De figuur schetst namelijk de geometrie van een gecombineerde radiosonde/radar waarneming met in punt A de radar en in punt C de radiosondeballon. x_1 is de elevatie, x_2 de slant range en x_3 de hoogte, die uit de radiosondegegevens (PTU) wordt berekend.

f is de horizontale ballonafstand, die een rol speelt bij de windbepaling. Deze parameter kan met f_1 in de range-elevatie mode worden bepaald, met f_2 in de range-hoogte mode en met f_3 in de elevatie-hoogte mode.

Als meest elementaire (equivalente) expressies kan men die beschouwen, welke uitdrukkingen zijn van ten hoogste $n-M$ meetvariabelen.

Hiervan zijn er in totaal

$$\binom{n}{M} = \frac{n!}{M!(n-M)!} \quad (4.3)$$

In het voorbeeld zijn dit de expressies f_1 , f_2 en f_3 .

$$\binom{n}{M} = \binom{3}{1} = 3$$

Andere gelijkwaardige expressies zijn te vinden door te manipuleren met de relaties $\varphi_i = 0$. Het aantal equivalente expressies is dan onbepaald. De expressies vormen een continuüm Ω (f_4 is zulk een expressie).

Men kan nu op verschillende manieren trachten door een keuze van de juiste expressie de meetnauwkeurigheid in het gehele meetbereik te verbeteren.

Men kan bijv. in de set van elementaire expressies in elk meetpunt die expressie selecteren, welke de kleinste variantie vertoont:

$$\min \{ \sigma_{f_1} \dots \sigma_{f_{\binom{n}{M}}} \}$$

Voor de windbepaling is deze methodiek in 1958 op het KNMI uitgewerkt. [De Jong, 1958].

Als oplossing werd gevonden, dat het meetbereik van de radar wordt gesplitst in drie subruimten, waarin één van de drie modes "optimaal" is. De oplossing is geschetst in figuur 3, die de afbakening toont van de gebieden waarin achtereenvolgens de range-hoogte, de range-elevatie en de elevatie-hoogte methode de kleinste meetfout bezit.

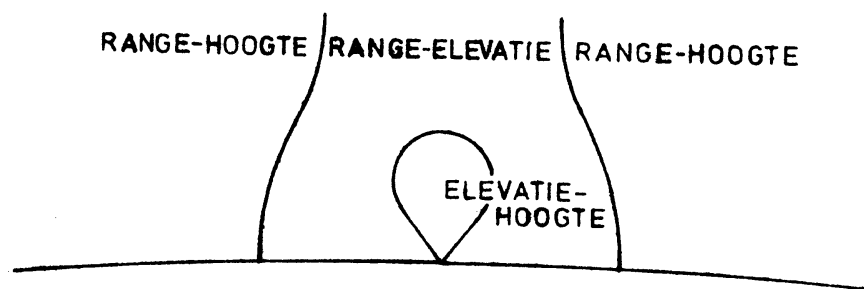


Fig. 3. Gebieden in het bereik van de radar, waar één van de aangegeven modes het nauwkeurigste windprofiel levert.

Deze oplossing zou gemakkelijk in een digitale bewerkingsprocedure kunnen worden opgenomen. Het is echter intuïtief duidelijk, dat er nog een betere oplossing kan worden gevonden, als men de selectie toepast in het continuüm Ω , misschien zelfs één oplossing, die optimaal is in het gehele meetbereik. Optimaal in die zin, dat de variantie behorende bij de optimale expressie f_0 in elk meetpunt een minimumwaarde bereikt:

$$\sigma_{f_0} \leq \min_{f \in \Omega} \sigma_{f \Omega} \quad (f \in \Omega)$$

in het bijzonder:

$$\sigma_{f_0} \leq \min_i \{ \sigma_{f_1}, \dots, \sigma_{f_{\binom{N}{M}}} \}$$

De mathematische theorie, die zich met deze en soortgelijke probleemstellingen bezighoudt, staat bekend als de theorie van vereffening. Deze mathematische discipline vindt uitgebreid toepassing in vakgebieden als landmeetkunde, astronomie en navigatie. De beginselen kunnen worden gevonden in alle handboeken, die zich bezighouden met de planning en analyse van experimenten. [Linnik, 1961]. De optimale expressie kan volgens deze theorie worden gevonden met behulp van een matrix algoritme. In de traditionele aanpak geschiedt dit door het opstellen van een systeem van Normaal Vergelijkingen, waarin het stelsel $\varphi_i = 0$ een rol speelt. In 1964 echter publiceerden Bouman en De Jong een variant op deze methode, waarbij niet de nadruk valt op het stelsel $\varphi_i = 0$ maar op een stelsel van equivalente expressies. [Bouman, De Jong, 1964]. Hoewel deze variant inhoudelijk niet verschilt van de traditionele methode, toont zij een veel duidelijker samenhang met de uitgangstoestand en verschaft zij een beter inzicht in het nuttig effect van de vereffening.

Volgens deze variant gaat men uit van een stelsel van N equivalente expressies $f_1 \dots f_N$. N mag niet groter zijn dan M+1. Immers, de betrekkingen

$$f_1 - f_i \quad (i = 2 \dots N)$$

vormen zelf een stelsel relaties dat equivalent is met het stelsel (4.2):

$$\varphi_i = 0 \quad (i = 1 \dots M)$$

De vraag is nu of het mogelijk is een nieuwe expressie f_0 te vinden, die een lineaire combinatie vormt van de basisexpressies $f_1 \dots f_{M+1}$ met de eigenschap, dat in de zin van kleinste kwadraten een maximale variantie-reduktie kan worden bereikt. Als zulk een optimale expressie invariant is voor verandering van basis, dan kan deze expressie f_0 worden beschouwd als optimaal in het continuum Ω voor het gestelde probleem.

Introduceer de kolom matrix:

$$F = \begin{bmatrix} f_1(x_1, \dots, x_n) \\ \dots \\ f_N(x_1, \dots, x_n) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

en een rij matrix van gewichtsfactoren:

$$\Lambda = [\lambda_1 \dots \lambda_N]. \quad (4.5)$$

Dan is $f_0 = \Lambda F$ (4.6)

f_0 moet aan twee voorwaarden voldoen:

- 1) voor exacte waarden van de x_i wordt $f_0 = f_i = f$.
- 2) $\text{var}(f_0)$ is een minimum.

De eerste voorwaarde eist:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1, \quad (4.7)$$

of in matrix notatie:

$$\Lambda e = 1 \quad (4.8)$$

mèt $e = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$ (4.9)

De gewichtsfactoren λ_i moeten nader worden gepreciseerd, zodanig dat aan de tweede voorwaarde wordt voldaan.

Algemeen geldt:

$$\text{var}(f_0) = \Lambda F_x S F_x^T \Lambda^T. \quad (4.10)$$

Hierin stelt S de covariantie matrix voor, die geassocieerd is met de meetvariabelen x_i . De "exponent" T duidt op transpositie (spiegeling) van een matrix en F_x is de Jacobiaan van de kolom matrix F .

Het minimaliseren van de variantie onder de nevenvoorwaarde (4.7) wordt bewerkstelligd door de invoering van een multiplicator ρ en het zoeken naar een minimum in het λ -domein van de expressie:

$$W = \Lambda F_x S F_x^T \Lambda^T + \rho (\Lambda e - 1). \quad (4.11)$$

Laat $C = F_x S F_x^T$ (4.12)

C is de covariantie matrix, geassocieerd met de basis F .

C is symmetrisch, zodat $C = C^T, (C^{-1})^T = C^{-1}$.

$$\text{Dus } W = \Lambda C \Lambda^T + \rho(\Lambda e - 1)$$

De minimumvoorwaarde luidt dan:

$$\frac{\partial W}{\partial \Lambda} = 2C \Lambda^T + \rho e = 0$$

met als oplossing:

$$\Lambda^T = - \frac{\rho}{2} C^{-1} e$$

of

$$\Lambda = - \frac{\rho}{2} e^T C^{-1}$$

Substitutie van Λ in $\Lambda e = 1$ geeft:

$$- \frac{\rho}{2} e^T C^{-1} e = 1$$

of

$$\rho = - \frac{2}{e^T C^{-1} e}$$

Ten slotte:

$$\Lambda = \frac{e^T C^{-1}}{e^T C^{-1} e} \quad (4.13)$$

En de bijbehorende "optimale expressie" f_0 :

$$f_0 = \frac{e^T C^{-1}}{e^T C^{-1} e} F \quad (4.14)$$

In F worden voor de x_i meetwaarden gesubstitueerd, terwijl de kritische gewichtsfactoren in eerste instantie ware waarden voor de x_i bevatten.

De minimumfout, die bij deze optimale expressie behoort, is volgens (4.10):

$$\text{var}(f_0) = \Lambda C \Lambda^T = \frac{e^T C^{-1}}{e^T C^{-1} e} C \frac{C^{-1} e}{e^T C^{-1} e} = \frac{e^T C^{-1} e}{(e^T C^{-1} e)^2}$$

of

$$\text{var}(f_0) = \frac{1}{e^T C^{-1} e} \quad (4.15)$$

Hierbij zij opgemerkt dat de noemer in (4.15) bestaat uit de som van alle elementen van de inverse matrix C^{-1} .

Aangetoond kan worden dat de expressie f_0 invariant is met betrekking tot een keuze van de basis F in het continuüm Ω . Dit neemt niet weg dat in de praktijk de waarden van f_0 , die men verkrijgt bij de keuze van andere bases, kleine verschillen zullen vertonen, omdat men in de eindformules alleen meetwaarden kan substitueren i.p.v. de onbekende exacte waarden.

Opmerkelijk is, dat de optimale expressie (4.14) coëfficiënten bevat waarin de standaardfouten σ_i voorkomen. Er heeft a.h.w. een injectie plaats van de meetfouten in de uiteindelijke functiewaarde.

In tegenstelling tot de klassieke methode met het stelsel Normaal Vergelijkingen vertoont deze oplossing een belangrijke mate van symmetrie. Duidelijk komt de gezamenlijke inzet van de basisexpressies tot uiting, verbonden door een rij van kritische gewichtsfactoren (4.13). Deze gewichtsfactoren bestaan uit verhoudingsgetallen van de rijssommen en de totaalsom van de elementen van C^{-1} . De minimum variantie (4.15) is gelijk aan de reciproke waarde van deze totaalsom.

Wil men in een concreet geval de toepassing van de vereffeningsmethode motiveren, dan dient men de nauwkeurigheid waarmee f door middel van de optimale expressie kan worden bepaald kwantitatief te vergelijken met de nauwkeurigheid waarmee f door de elementaire expressies afzonderlijk kan worden geleverd (variantie-analyse).

Men kan o.a. waarnemen dat in bepaalde gebieden van het meetbereik, waar één van de basisexpressies "onmeetbaar" wordt, deze onmeetbaarheid door de optimale expressie kan worden opgeheven. Een voorbeeld vindt men in hoofdstuk 5.

Dit is ook de reden waarom de nieuwe aanpak een beter inzicht geeft in het nuttig effect van de vereffeningsmethode dan de klassieke methode met Normaal Vergelijkingen. Deze variant heeft bovendien nog een eigenschap waardoor hij uit praktisch oogpunt de voorkeur verdient boven de klassieke methode.

De optimale expressie kan men door specialisering gemakkelijk in die van een elementaire expressie laten overgaan, bijv. door het 0-stellen van bepaalde λ_i in (4.6) of het inf-stellen van bepaalde σ_i in (4.14).

In een informatieverwerkend proces kan men van deze eigenschap gebruikmaken door een subroutine te ontwikkelen op basis van de vereffeningsmethode, die door specialisering ook toepasbaar is op andere methodieken.

In dit verband zou men bij radiosondeopstijgingen de vereffeningsmethode { P T U Z } kunnen interpreteren als een combinatie van de rasonneermethode { T U Z; P } en de traditionele methode { P T U; Z }.

-o-o-o-

5. Toepassing op de windberekening

In principe berust de windbepaling op een verschilmeting, waarbij gebruikgemaakt wordt van de plaatscoördinaten in opeenvolgende meetpunten. Voor de windberekening is een afzonderlijke radarpeiling voldoende, ook als deze plaatsvindt gecombineerd met een radiosonde-waarneming. In het laatste geval, als de meting synchroon is, kan men de hoogte ook afleiden uit de (P,T,U) waarden van de radiosonde en deze parameter in de windberekening betrekken. Het meetsysteem is dan overbepaald.

De geometrie van de meetopstelling is weergegeven in Fig. 4. We zullen de vereffeningsprocedure toepassen met inbegrip van het

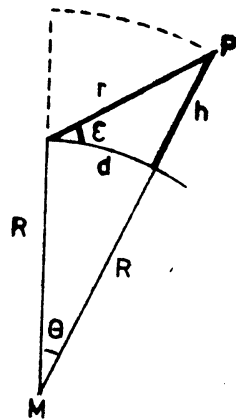


Fig. 4. Geometrie van de meetopstelling.

aardkrommingseffekt.

Voor de windbepaling zijn twee opeenvolgende posities op de ballonbaan vereist. De projecties P_1 en P_2 op de bol definiëren de verplaatsingsvektor $\overrightarrow{P_1 P_2}$ (Fig. 5). Deze verplaatsingsvektor laat zich berekenen in boldriehoek $OP_1 P_2$ met behulp van bolgoniometrie. De zijden $d_1 = OP_1$ en $d_2 = OP_2$ kunnen worden berekend uit de elevatie ϵ_i , slant range r_i en hoogte h_i ($i = 1, 2$).

De windvektor laat zich uit de verplaatsingsvektor berekenen volgens:

$$\vec{v} = \left(1 + \frac{h}{R}\right) \frac{\overrightarrow{P_1 P_2}}{\Delta t}$$

Hierin wordt h niet-stochastisch beschouwd. Δt is het tijdsincrement tussen twee opeenvolgende meetpunten. R is de aardstraal. Een gevolg van de overbepaaldheid is, dat men afwijkende windprofielen zal vinden in

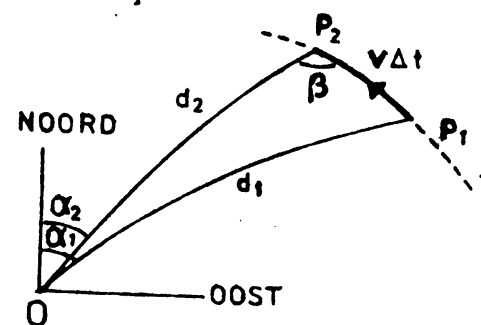


Fig. 5. Projectie ballonbaan op aardoppervlak.

afhankelijkheid van de gebruikte expressies voor de horizontale afstand, bijv. in de elevatie-range, range-hoogte en elevatie-hoogte

modes. De overbepaaldheid suggereert verder dat windvereffening indirect mogelijk wordt door toepassing van de vereffeningsprocedure op de horizontale afstand. Het vereffende windprofiel is dan wat de nauwkeurigheid betreft te beschouwen als optimaal in het gehele meetbereik.

Eerst kunnen we vaststellen dat er tussen de exacte waarden van de meetvariabelen r , ϵ en h ($n = 3$) een relatie bestaat van de volgende vorm:

$$\varphi = R^2 + r^2 - (R+h)^2 + 2 rR \sin \epsilon = 0$$

of

$$(r + R \sin \epsilon)^2 - (R+h)^2 + R^2 \cos^2 \epsilon = 0 \quad (5.1)$$

Deze relatie volgt uit de cos. regel in ΔOMP .

Meer voorwaarden zijn er niet, zodat $M = 1$.

Vervolgens zoeken we enkele equivalente expressies voor de horizontale afstand.

De cos. regel in ΔOMP geeft:

$$r^2 = R^2 + (R+h)^2 - 2 R (R+h) \cos \theta \quad (5.2)$$

Verder geldt:

$$\frac{\sin \theta}{\cos \epsilon} = \frac{r}{R+h} \quad (5.3)$$

$$\text{en} \quad d = R \theta \quad (5.4)$$

Beter is de windberekening te betrekken op een met het aardoppervlak concentrisch boloppervlak door P . De horizontale afstand is dan

$$d = (R+h) \theta \quad , \quad (5.5)$$

waarin h de nominale (niet-stochastische) waarde is van de hoogte.

In de drie elementaire modes leiden we de expressies voor d af.

($r \epsilon$) mode

Eliminatie van θ en h uit (5.1), (5.3) en (5.5) levert als eerste expressie:

$$d_{(sr)} = (R+h) \text{ bg } \sin \frac{r \cos \epsilon}{(R^2 + r^2 + 2rR \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}}} \quad (5.6)$$

(rh) mode

Uit (5.2) en (5.5) volgt onmiddellijk een tweede expressie:

$$d_{(hr)} = (R+h) \operatorname{bg} \cos \frac{R^2 + (R+h)^2 - r^2}{2R(R+h)} \quad (5.7)$$

(εh) mode

Eliminatie van θ en r uit (5.1), (5.3) en (5.5) geeft als derde expressie:

$$d_{(hε)} = (R+h) \operatorname{bg} \sin \left(\frac{-R \sin ε \pm \left((R+h)^2 - R^2 \cos^2 ε \right)^{\frac{1}{2}}}{R+h} \cos ε \right) \quad (5.8)$$

Aangezien $M = 1$ vormen twee van deze expressies reeds een basis. Welk tweetal expressies gekozen wordt, is irrelevant, omdat de optimale expressie invariant is voor een verandering van basis.

Laten we voor de kolom matrix F de expressies $d_{(rε)}$ en $d_{(rh)}$ selecteren:

$$F = \begin{bmatrix} (R+h) \operatorname{bg} \sin \frac{r \cos ε}{(R^2 + r^2 + 2rR \sin ε)^{\frac{1}{2}}} \\ (R+h) \operatorname{bg} \cos \left(\frac{R^2 + (R+h)^2 - r^2}{2R(R+h)} \right) \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

De foutenmatrix S behorend bij de meetvariabelen zij:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_ε^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_h^2 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Hierbij is verondersteld dat er geen stochastische afhankelijkheid bestaat tussen de meetvariabelen (S bevat alleen diagonaal-elementen).

De Jacobiaan F_x van F is

$$F_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial r} d_{(rε)} & \frac{\partial}{\partial ε} d_{(rε)} & \frac{\partial}{\partial h} d_{(rε)} \\ \frac{\partial}{\partial r} d_{(rh)} & \frac{\partial}{\partial ε} d_{(rh)} & \frac{\partial}{\partial h} d_{(rh)} \end{bmatrix}$$

Hierbij dient men alleen partieel te differentiëren naar de stochastische variabelen. Na differentiatie worden de differentiaal quotiënten geëvalueerd voor de exacte of nominale waarden van de meetvariabelen. Dit houdt in dat substitutie van de relatie (5.1) vrijelijk is toegestaan. Als resultaat vindt men

$$F_y = \begin{bmatrix} \frac{R}{R+h} \cos \epsilon & -r \frac{(r+R \sin \epsilon)}{R+h} & 0 \\ \frac{R+h}{R \cos \epsilon} & 0 & -\frac{r+R \sin \epsilon}{R \cos \epsilon} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Vervolgens berekenen we de covariantiematrix C:

$$C = F_x S F_x^T$$

Er komt

$$C = \begin{bmatrix} \frac{1}{(R+h)^2} (R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_r^2 + r^2 (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_\epsilon^2) & \sigma_r^2 \\ \sigma_r^2 & \frac{1}{R^2 \cos^2 \epsilon} ((R+h)^2 \sigma_r^2 + (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_h^2) \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Deze matrix moet geïnverteerd worden. Nu geldt in het algemeen, dat de inverse van een symmetrische 2x2 matrix $\begin{bmatrix} a & c \\ c & b \end{bmatrix}$ wordt gegeven door $\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} b & -c \\ -c & a \end{bmatrix}$. $\Delta = ab - c^2$.

C^{-1} wordt dan:

$$C^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \frac{1}{R^2 \cos^2 \epsilon} \{ (R+h)^2 \sigma_r^2 + (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_h^2 \} & -\sigma_r^2 \\ -\sigma_r^2 & \frac{1}{(R+h)^2} \{ R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_r^2 + r^2 (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_\epsilon^2 \} \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

met

$$\Delta = \frac{(r+R \sin \epsilon)^2}{R^2 (R+h)^2 \cos^2 \epsilon} \{ R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_r^2 \sigma_h^2 + r^2 (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_\epsilon^2 \sigma_h^2 + (R+h)^2 r^2 \sigma_\epsilon^2 \sigma_r^2 \} \quad (5.14)$$

In C^{-1} bepalen we vervolgens de som van rijelementen:

$$\Sigma_1 = \frac{(r+R \sin \epsilon)^2}{R^2 \cos^2 \epsilon \Delta} (\sigma_r^2 + \sigma_h^2) \quad (5.15)$$

$$\Sigma_2 = \frac{(r+R \sin \epsilon)^2}{(R+h)^2 \Delta} (-\sigma_r^2 + r^2 \sigma_\epsilon^2) \quad (5.16)$$

De som van alle elementen van C^{-1} is:

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 = \frac{(r+R \sin \epsilon)^2}{R^2 (R+h)^2 \cos^2 \epsilon} \left\{ r^2 R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 + (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_r^2 + (R+h)^2 \sigma_h^2 \right\} \quad (5.17)$$

De kritische gewichtsfactoren zijn dan $\frac{\Sigma_1}{\Sigma}$ en $\frac{\Sigma_2}{\Sigma}$, zodat de optimale expressie volgens (4.14) de volgende vorm aanneemt:

$$S(d) = \frac{R^2 \cos^2 \epsilon (-\sigma_r^2 + r^2 \sigma_\epsilon^2) d_{(rh)} + (R+h)^2 (\sigma_r^2 + \sigma_h^2) d_{(re)}}{r^2 R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 + (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_r^2 + (R+h)^2 \sigma_h^2} \quad (5.18)$$

terwijl de hierbijbehorende minimum variantie volgens (4.15) wordt:

$$\sigma_{S(d)}^2 = \frac{1}{\Sigma}$$

of

$$\sigma_{S(d)}^2 = \frac{R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_r^2 \sigma_h^2 + r^2 (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_r^2 \sigma_h^2 + (R+h)^2 r^2 \sigma_\epsilon^2 \sigma_r^2}{r^2 R^2 \cos^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 + (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_r^2 + (R+h)^2 \sigma_h^2} \quad (5.19)$$

Dit is het resultaat van een "pooling" toegepast in de (re) en (rh) modes. Zou men het algoritme hebben toegepast in de (er) en (eh) modes of in de (he) en (hr) modes, dan zou men eveneens optimale expressies hebben verkregen, optimaal in stochastische zin, met dezelfde minimum variantie (5.19). Numeriek nemen ze dezelfde waarde aan voor nominale waarden, maar in de praktijk moeten bij de evaluatie van de expressies de meetwaarden zelf worden gesubstitueerd en dit leidt toch tot enigszins verschillende uitkomsten.

Het is te verwachten, dat ingeval één van de elementen van de matrix S tot inf. nadert, de expressie (5.18) overgaat in een basis-expressie (5.6) of (5.7), bijv. $\sigma_\epsilon \rightarrow \text{inf.}$:

$$S(d) \rightarrow d_{(rh)}$$

$$\sigma_{S(d)}^2 \rightarrow \sigma_{d_{(hr)}}^2 = \frac{1}{R^2 \cos^2 \epsilon} \left\{ (r+R \sin \epsilon)^2 \sigma_h^2 + (R+h)^2 \sigma_r^2 \right\} \quad (5.20)$$

Bij elektronische bewerking is dit een belangrijk punt, omdat men hiermee door een eenvoudige ingreep in staat is een andere methodiek te volgen.

Interessant is het op te merken, dat in de (rh) mode de horizontale afstand en dus de wind rond het azimuth vrijwel onmeetbaar is: $\sigma_{d(hr)}^2 \rightarrow \text{inf}$ voor $\epsilon = \frac{\pi}{2}$. De optimale expressie daarentegen blijft goed te bepalen aangezien $\sigma_{S(d)}^2$ in het hele meetbereik, o.a. ook voor $\epsilon = \frac{\pi}{2}$, eindig blijft.

Laat men R tot inf. naderen, dan gaan de formules (5.18) en (5.19) over in die voor de oplossing van het probleem van een vlakke aarde:

R \rightarrow inf.:

$$S(d) = \frac{\cos^2 \epsilon (-\sigma_r^2 + r^2 \sigma_\epsilon^2) d_{(rh)} + (\sigma_r^2 + \sigma_h^2) d_{(r\epsilon)}}{r^2 \cos^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 + \sin^2 \epsilon \sigma_r^2 + \sigma_h^2} \quad (5.21)$$

$$\text{var } S(d) = \frac{\cos^2 \epsilon \sigma_r^2 \sigma_h^2 + r^2 \sin^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 \sigma_h^2 + r^2 \sigma_\epsilon^2 \sigma_r^2}{r^2 \cos^2 \epsilon \sigma_\epsilon^2 + \sin^2 \epsilon \sigma_r^2 + \sigma_h^2} \quad (5.22)$$

waarbij:

$$d_{(rh)} = (r^2 - h^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5.23)$$

$$d_{(r\epsilon)} = r \cos \epsilon \quad (5.24)$$

(zie ook Fig. 2).

Door de vereffening van de horizontale afstand wordt indirect ook de wind zelf vereffend. Bovenstaand vereffeningsschema is opgenomen in het definitieve systeemontwerp.

Hieronder volgt een samenvatting.

Vereffeningsschema voor de windbepaling

We introduceren 3 parameters μ_1 , μ_2 en μ_3 .

$$\mu_1 = \sin \epsilon + \frac{r}{R}$$

$$\mu_2 = \cos \epsilon$$

$$\mu_3 = 1 + \frac{h}{R}$$

Voor nominale waarden van de meetvariabelen geldt:

$$\mu_3^2 = \mu_1^2 + \mu_2^2$$

Verder interpreteren we σ_{ϵ}^2 voortaan als variantie van de boogafstand $r \sigma_{\epsilon}$: $r^2 \sigma_{\epsilon}^2 \rightarrow \sigma_{\epsilon}^2$

$$(h, \epsilon) \text{ mode: } d_{(h\epsilon)} = (R+h) \text{ bg } \sin \left(\frac{-R \sin \epsilon \pm \{(R+h)^2 - R^2 \cos^2 \epsilon\}^{\frac{1}{2}}}{R+h} \cos \epsilon \right) \quad (5.25)$$

$$\sigma_{d_{(h\epsilon)}}^2 = \frac{1}{\mu_3^2 \mu_1^2} (\mu_3^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_2^2 \sigma_h^2) \quad (5.26)$$

$$(r\epsilon) \text{ mode: } d_{(r\epsilon)} = (R+h) \text{ bg } \sin \frac{r \cos \epsilon}{(R^2 + r^2 + 2rR \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}}} \quad (5.27)$$

$$\sigma_{d_{(r\epsilon)}}^2 = \frac{1}{\mu_3^2 \mu_3^2} (\mu_2^2 \sigma_r^2 + \mu_1^2 \sigma_{\epsilon}^2) \quad (5.28)$$

$$(hr) \text{ mode: } d_{(hr)} = (R+h) \text{ bg } \cos \frac{R^2 + (R+h)^2 - r^2}{2R(R+h)} \quad (5.29)$$

$$\sigma_{d_{(hr)}}^2 = \frac{1}{\mu_3^2 \mu_2^2} (\mu_1^2 \sigma_h^2 + \mu_3^2 \sigma_r^2) \quad (5.30)$$

$$(h, \epsilon, r) \text{ mode: } S(d) = \frac{\mu_1^2 (\sigma_r^2 - \sigma_{\epsilon}^2) d_{(h\epsilon)} + \mu_3^2 (\sigma_{\epsilon}^2 + \sigma_h^2) d_{(r\epsilon)}}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_3^2 \sigma_h^2} \quad (5.31)$$

of

$$S(d) = \frac{\mu_2^2 (\sigma_{\epsilon}^2 r \sigma_h^2) d_{(hr)} + \mu_1^2 (\sigma_r^2 + \sigma_h^2) d_{(h\epsilon)}}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_3^2 \sigma_h^2} \quad (5.32)$$

of

$$S(d) = \frac{\mu_3^2 (\sigma_r^2 + \sigma_h^2) d_{(r\epsilon)} + \mu_2^2 (\sigma_{\epsilon}^2 - \sigma_r^2) d_{(hr)}}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_3^2 \sigma_h^2} \quad (5.33)$$

met

$$\sigma_{S(d)}^2 = \frac{\mu_1^2 \sigma_h^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_2^2 \sigma_r^2 \sigma_h^2 + \mu_3^2 \sigma_r^2 \sigma_{\epsilon}^2}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_{\epsilon}^2 + \mu_3^2 \sigma_h^2} \quad (5.34)$$

Wind. Na vereffening van de horizontale afstand $d_1 = \overline{OP_1}$ en $d_2 = \overline{OP_2}$ in opvolgende meetpunten (Fig. 5) op een boloppervlak met straal $(h+R)$ volgt:

$$v = \frac{\overline{P_1 P_2}}{\Delta t}$$

$$\cos \overline{P_1 P_2} = \cos S(d_1) \cos S(d_2) + \sin S(d_1) \sin S(d_2) \cos (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (5.35)$$

De hoek β is bepalend voor de windrichting. Deze hoek volgt uit de cosinus-regel in boldriehoek OP_1P_2 :

$$\cos S(d_1) = \cos \overline{P_1P_2} \cos S(d_2) + \sin \overline{P_1P_2} \sin S(d_2) \cos \beta \quad (5.36)$$

Maatgevend voor de windnauwkeurigheid is de standaardvectordeviatie σ^2 :

$$(h\varepsilon) \text{ mode} \quad \sigma^2 = \frac{2}{(\Delta t)^2} (d_{(h\varepsilon)}^2 \sigma_a^2 + \sigma_{d(h\varepsilon)}^2) \quad (5.37)$$

$$(r\varepsilon) \text{ mode} \quad \sigma^2 = \frac{2}{(\Delta t)^2} (d_{(r\varepsilon)}^2 \sigma_a^2 + \sigma_{d(r\varepsilon)}^2) \quad (5.38)$$

$$(hr) \text{ mode} \quad \sigma^2 = \frac{2}{(\Delta t)^2} (d_{(hr)}^2 \sigma_a^2 + \sigma_{d(hr)}^2) \quad (5.39)$$

$$(h\varepsilon r) \text{ mode} \quad \sigma_{\text{optimaal}}^2 = \frac{2}{(\Delta t)^2} (S(d)^2 \sigma_a^2 + \sigma_{S(d)}^2) \quad (5.40)$$

Ter beoordeling van de nauwkeurigheid van de windbepaling zou men, aangezien de wind een vectorgrootheid is, deze afzonderlijk kunnen baseren op de nauwkeurigheid in windrichting en -snelheid. Synthetisch is de standaardvectordeviatie een bruikbare maat. De efficiency van de vereffeningsmethode in vergelijking tot die van andere methodieken kan men met behulp van deze precisiemaat onderzoeken.

De foutreductie is echter moeilijk in een percentage uit te drukken, aangezien deze afhankelijk is van de methodiek waarmee wordt vergeleken, voorts van de specificatie van de foutmatrix S van de meetvariabelen en van de lokatie van het meetpunt.

In Fig. 6, ontleend aan de eerdervermelde publikatie, [De Jong, 1966], wordt het resultaat getoond van een foutanalyse respektievelijk in de $(h\varepsilon)$, $(r\varepsilon)$, (hr) en $(h\varepsilon r)$ mode. Aan de hand van deze figuren mag geconcludeerd worden dat de foutreductie bij de $(h\varepsilon r)$ mode, in vergelijking met de $(h\varepsilon)$ mode, aanzienlijk is bij lage elevatie en in vergelijking met de (hr) mode bij hoge elevatie. In vergelijking met de $(r\varepsilon)$ mode is de foutreductie in het gehele meetbereik gering.

Bij de radiosondebewerking komt nog een tweede element voor vereffening in aanmerking. Dit betreft de hoogte zelf. Deze parameter kan namelijk uit de radargegevens worden berekend, maar onafhankelijk hiervan ook uit de radiosondegegevens. In hoofdstuk 6.3 komen we hier nader op terug.

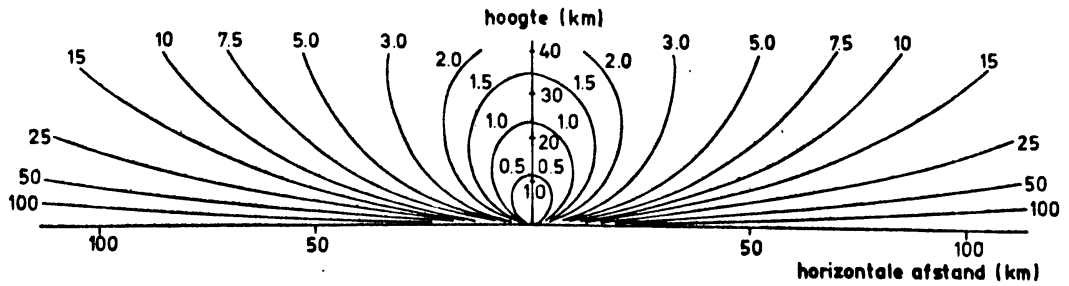


Fig. 6a. Hoogte-elevatie mode. Isoplethen van de standaardvektorfout voor de wind in de vertikaal ($m \cdot s^{-1}$).

$$\sigma_h = 20 \text{ m}, \sigma_\alpha = \sigma_\epsilon = 0.1^\circ$$

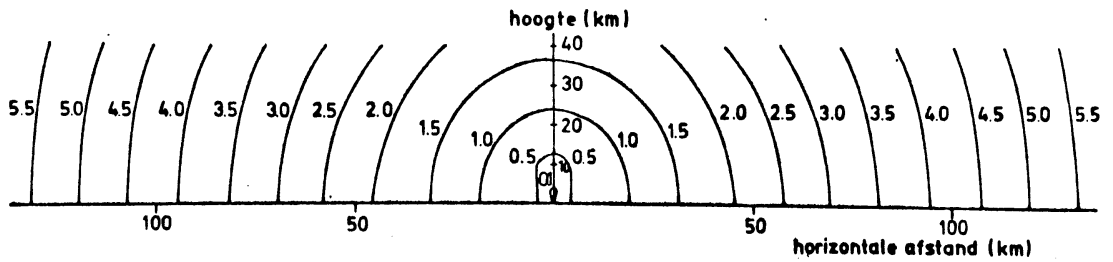


Fig. 6b. Range-elevatie mode. Isoplethen van de standaardvektorfout voor de wind in de vertikaal ($m \cdot s^{-1}$).

$$\sigma_r = 25 \text{ m}, \sigma_\alpha = \sigma_\epsilon = 0.1^\circ$$

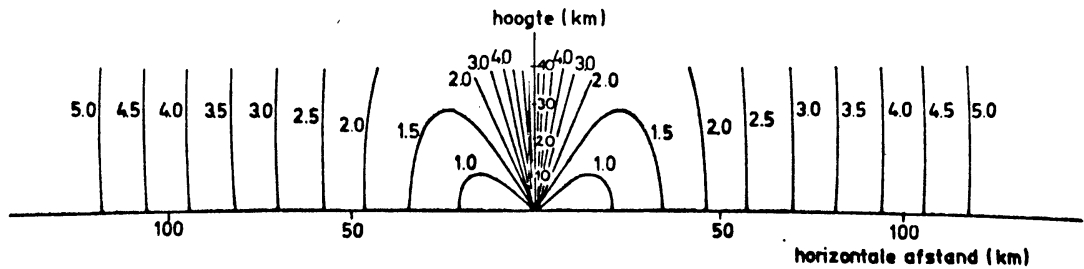


Fig. 6c. Hoogte-range mode. Isoplethen van de standaardvektorfout voor de wind in de vertikaal ($m \cdot s^{-1}$).

$$\sigma_r = 25 \text{ m}, \sigma_h = 20 \text{ m}, \sigma_\alpha = 0.1^\circ$$

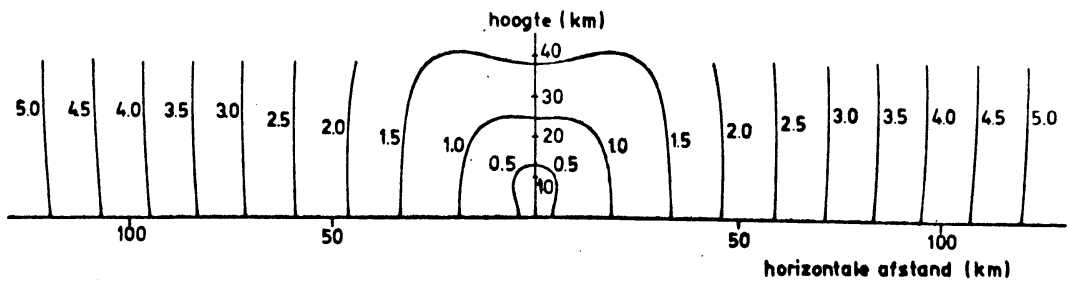


Fig. 6d. Vereffening. Isoplethen van de standaardvektorfout voor de wind in de vertikaal ($m \cdot s^{-1}$).

$$\sigma_h = 20 \text{ m}, \sigma_r = 25 \text{ m}, \sigma_\epsilon = \sigma_\alpha = 0.1^\circ$$

6. Numerieke Analyse

6.1 Indien de primaire meetgegevens ter beschikking komen in digitale vorm, worden deze in een rekenmodule verder analytisch bewerkt.

Men zou uiteraard elk secundair gegeven waarin men geïnteresseerd is, kunnen laten berekenen. Voor het specifieke doel waarvoor het radiosonde rekenprogramma is ontworpen, is een gegevensbestand samengesteld, dat in hoofdzaak is afgestemd op de inhoud en specificatie van de internationale codes TEMP, TEMP SHIP, PILOT, PILOT SHIP, CLIMAT TEMP en CLIMAT TEMP SHIP. Dit gegevensbestand bevat verder enkele elementen, die nationaal zijn voorgeschreven en tot op heden in een ponskaartenarchief worden bewaard. Een specificatie van dit bestand vindt men in bijlage D.

Zou men op routinebasis toch willen beschikken over bepaalde parameters, bijv. voor researchdoeleinden, dan zou men het rekenmodule hiervoor kunnen modificeren. Men kan ook achteraf uit het archiefbestand op magneetband de gewenste gegevens extraheren met behulp van een speciaal programma.

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de numerieke aspecten van het systeem, in het bijzonder aan de keuze van de numerieke waarde van verschillende constanten, het gebruik van geometrische en fysische formules alsmede van procedure-algorithmes ter verkrijging van bijzondere aerologische parameters.

Men dient zich hierbij te houden aan de internationale voorschriften, welke zijn vastgelegd in WMO-No.9, TP.4 Volume B, Codes en Technical Regulations WMO-No. 49, BD 2/3.

De numerieke analyse bracht terloops aan het licht dat de codebeschrijving niet volledig is. Dit is niet zo verwonderlijk, omdat de codes destijds werden ontwikkeld zonder voorkennis, dat het coderen en decoderen ooit geautomatiseerd zouden worden. De codering moet namelijk éénduidig geformuleerd kunnen worden in mathematische vorm. Anders is een elektronische processing niet mogelijk. De hiaten in de codebeschrijving zijn echter niet van ernstige aard, zodat men in enkele details zelf kan beslissen.

Ook de voorschriften in de Technical Regulations zijn niet volledig. Zo ontbreekt een definitie en formulering van het begrip

virtuele temperatuur. Ook ontbreekt een waarde voor de aardstraal. evenmin wordt vermeld welke standaardatmosfeer men dient te gebruiken. Men moet dan andere bronnen raadplegen, zoals de Smithsonian Meteorological Tables, LINKE's Meteorologisches Taschenbuch, IIe editie en de ICAO Standard Atmosphere (Doc. 7488/2).

6.2 Hoogteberekening

Bij gecombineerde radiosonde/radar metingen wordt gezocht naar het empirisch verloop van P, T, U en \vec{v} als functie van de geometrische hoogte Z of de geopotential H.

De hoogte is te bepalen uit de primaire radiosondegegevens sec en onafhankelijk hiervan uit de radargegevens.

Radioonde. De hoogte volgt uit de integratie van de statische grondvergelijking:

$$gdZ = - RT_v \frac{dP}{P} \quad (6.2.1)$$

$$\text{of} \quad \int_{z_1}^{z_2} gdZ = RT_v \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (6.2.2)$$

g = versnelling van de zwaartekracht ($m \text{ sec}^{-2}$).

Z = hoogte in m.

T_v = absolute virtuele temperatuur ($^{\circ}K$).

\bar{T}_v = gemiddelde van T_v tussen twee karakteristieke niveaus ($^{\circ}K$).

R = $287.05 \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1} \text{ } ^{\circ}K^{-1}$, gasconstante voor droge lucht.

P = luchtdruk (mbar).

In (6.2.1) komen T en U impliciet voor in de virtuele temperatuur. Integratie is alleen mogelijk als men T_v in T en U weet uit te drukken.

Virtuele temperatuur

In de Technical Regulations Vol. I ontbreekt een specificatie van deze thermodynamische grootte.

De virtuele temperatuur, zoals gedefinieerd door de I.M.O. Aerological Commission (Toronto 1947) wordt gegeven door de uitdrukking:

$$T_v = T \frac{1 + \frac{r}{\epsilon}}{1 + r} \quad (6.2.3)$$

waarin T is de temperatuur in °K, r de mengverhouding en $\epsilon = \frac{R}{R_d}$ de verhouding van de specifieke gasconstanten voor waterdamp en droge lucht.

De gasconstante R_d voor 1 gram droge lucht is

$$R_d = 0.28705 \text{ joule g}^{-1} \text{K}^{-1} \quad (6.2.4)$$

Idem voor waterdamp:

$$R = 0.46151 \text{ joule g}^{-1} \text{K}^{-1} \quad (6.2.5)$$

$$\text{zodat } \epsilon = \frac{R_d}{R} = 0.62198 \quad (6.2.6)$$

De mengverhouding r is gedefinieerd als de verhouding van de dichtheid van waterdamp en van droge lucht. Met behulp van de gasvergelijking vindt men

$$r = \frac{\frac{e}{RT}}{\frac{P-e}{R_d T}} = \frac{R_d}{R} \frac{e}{P-e} \quad (6.2.7)$$

Hierin is e de partiële druk van de waterdamp en P de (gemeten) totaal druk.

Uit de definitie van de relatieve vochtigheid U volgt, dat bij gegeven temperatuur T :

$$\epsilon(T) = \frac{U E(T)}{100} \quad (6.2.8)$$

Hierin is $E(T)$ de verzadigingsdampspanning. Deze verzadigingsdampspanning is een functie van de temperatuur en wordt verkregen uit de bekende Goff-Gratsch formule. Deze formule volgt uit de integratie van de vergelijking van Clausius-Clapeyron, rekening houdende met bepaalde empirische constanten.

De formule luidt:

t.o.v. water:

$$\begin{aligned} \log E(T) = & - 7.90298 \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right) + 5.02808 \log \frac{T_1}{T} \\ & + 1.3816 \cdot 10^{-7} \left(10^{11.344 \left(1 - \frac{T}{T_s} \right) - 1} \right) \\ & + 8.1328 \cdot 10^{-3} \left(10^{-3.49149 \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right) - 1} \right) \\ & + \log E(T_1) \end{aligned} \quad (6.2.9)$$

met T_1 het kookpunt van water en $E(T_1)$ de verzadigingsdampspanning in het kookpunt (1013.246 mbar).

De formule is geldig tussen 0 en 100° C. Omdat integratie door gebrek aan gegevens voor onderkoeld water niet gelukt, wordt de formule door de meeste onderzoekers ook toegepast tussen 0° en -50° C.

De WMO stelt in de Technical Regulations een andere formule voor, die veel op de Goff-Gratsch formule lijkt.

De formule luidt:

t.o.v. water:

$$\begin{aligned} \log E(T) = & 10.79574 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.028 \log \left(\frac{T}{T_1}\right) \\ & + 1,50475 \cdot 10^{-4} \left(1 - 10^{-8.2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}\right) \\ & + 0.42873 \cdot 10^{-3} \left(10^{4.76955 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1\right) \\ & + 0.78614 \end{aligned} \quad (6.2.10)$$

$$T_1 = 273.16 \text{ °K.}$$

$$E \text{ in mbar, } T \text{ in °K.}$$

Ten opzichte van ijs geldt een andere uitdrukking. De invloed van $E(T)$ op de hoogteberekening is echter beneden 0° C zeer gering. Bovendien is in de praktijk het onderscheid boven water of ijs moeilijk vast te stellen, zodat in het KNMI-model alleen formule (6.2.10) wordt gebruikt.

In de hoogteformule (6.2.2) is het van belang welke gemiddelde waarde men neemt voor T_v . Tussen de markante punten wordt de temperatuurgradiënt meestal lineair met de hoogte verondersteld. Als gemiddelde zou dan het arithmetisch gemiddelde in aanmerking komen. In de praktijk echter wordt het temperatuurverloop verkregen door conversie, via de ijking, van de frekwentie versus tijdregistratie. Ofschoon deze registratie tussen markante punten uit "rechte stukken" bestaat, gaat de lineariteit bij de conversie verloren. Töpfer [1962] beveelt aan een combinatie van een arithmetisch en geometrisch gemiddelde toe te passen in de vorm

$$\bar{T}_v = \frac{1}{3} \left(\frac{T_{v,1} + T_{v,2}}{2} + 2 \left(T_{v,1} T_{v,2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (6.2.11)$$

Geopotentialaal

In de meteorologie wordt de hoogte-informatie niet verstrekt in geometrische meters, maar vervangen door de geopotentialaal, een grootte, die gedefinieerd wordt door de differentiaal expressie:

$$d\Phi = g dZ \quad (6.2.12)$$

Als eenheid van geopotentialaal is door de WMO de geopotentiële meter ingevoerd:

$$1 \text{ gpm} = 9.8 \text{ m}^2\text{sec}^{-2}$$

Wordt g in $\text{m}^2\text{sec}^{-2}$ en Z in m gegeven, dan wordt de geopotentialaal, uitgedrukt in geopotentiële meters:

$$H = \frac{1}{9.8} \int_0^Z g dZ \quad (6.2.13)$$

Het voordeel is dat men het verloop van g met de hoogte niet hoeft te kennen en dat in de lagere niveaus van de atmosfeer de hoogte in geometrische meters numeriek praktisch gelijk is aan de geopotentialaal in geopotentiële meters.

De geopotentialaal kan uitgerekend worden door (6.2.13) te integreren in alle lagen tussen de markante punten en te sommeren:

$$H_{\text{sonde}} = \frac{1}{9.8} \sum_{i=0}^n R \bar{T}_v \ln \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad (6.2.14)$$

$i=0$ is grondpunt, $i=n$ is springpunt of laatste meetpunt.

Hierbij wordt verder gebruikgemaakt van de formules (6.2.8), (6.2.10), (6.2.11), zodat men uitsluitend nog de gemeten waarden P_i , T_i , U_i ($i=0 \dots n$) in de karakteristieke punten nodig heeft.

Radar

De hoogteinformatie kan ook worden ontleend aan de radargegevens. Beschouw daartoe Figuur 7. Het radarplatform bevindt zich op een hoogte h'' boven het terrein. h' is de terreinhoogte boven het gemiddelde zeeniveau.

Dan volgt uit de cos regel in $\Delta O'MB$:

$$Z = (r^2 + R'^2 + 2rR' \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}} - R \quad (6.2.15)$$

$$\text{met} \quad R' = R + h' + h'' \quad (6.2.16)$$

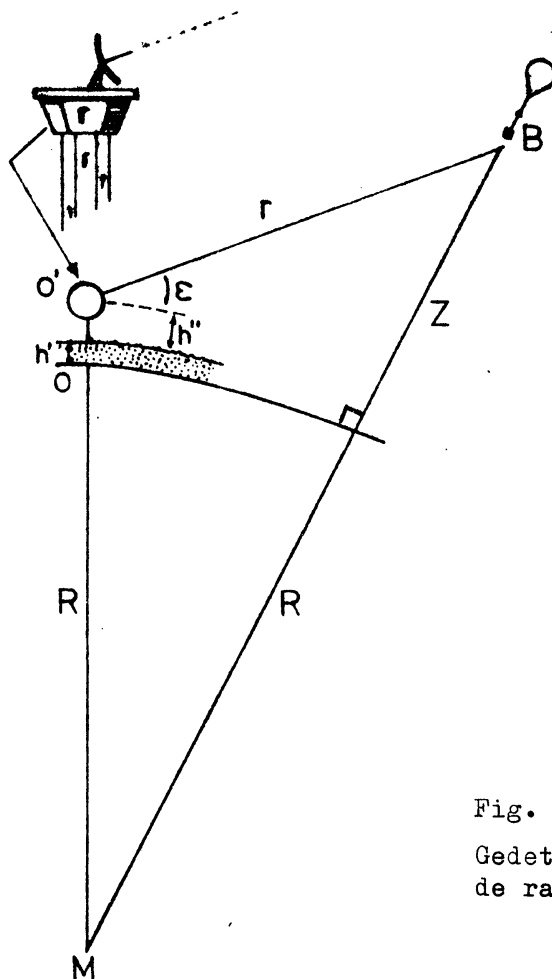


Fig. 7
Gedetailleerder geometrie van de radar-meetopstelling.

Een goede benadering is evenwel:

$$Z = (r^2 + R^2 + 2r R \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}} - R + h' + h'' \quad (6.2.17)$$

Strikt genomen is R de kromtestraal in het waarnemingspunt. Voor R is de gemiddelde aardstraal in de Internationale Referentie Ellipsoïde genomen: $R = 6371229.315$ m (Sm. Tables, Tabel 161).

In De Bilt is de terreinhoogte

$$h' = 5 \text{ m}$$

Eén van de Selenia radars is gesitueerd op de waarnemingstoren:

$$h'' = 35 \text{ m.}$$

Om bij deze geometrische hoogte Z de geopotential H te berekenen, is het noodzakelijk (6.2.13) uit te rekenen. Daartoe is het noodzakelijk het verloop van g te kennen als functie van de hoogte (en de geografische breedte ϕ).

In de Technical Regulations, Appendix B, wordt voor de versnelling van de zwaartekracht de volgende formule aanbevolen:

$$g = A + BZ + CZ^2 \quad (g \text{ in cm sec}^{-2}) \quad (6.2.18)$$

A is de theoretische waarde van g op gemiddeld zeeniveau op de breedte φ :

$$A = 980.616(1 - 0.0026373 \cos 2\varphi + 0.0000059 \cos^2 2\varphi) \quad (6.2.19)$$

$$B = - (0.00030855 + 0.000000227 \cos 2\varphi) \quad (6.2.20)$$

$$C = (0.00007254 + 0.00000010 \cos 2\varphi) \cdot 10^{-6} \quad (6.2.21)$$

Substitutie van (6.2.19) in

$$H = \frac{1}{980} \int_0^Z g \, dZ \quad (\text{gpm}) \text{ geeft:}$$

$$H_{\text{radar}} = \frac{1}{980} \left[AZ + \frac{B}{2} Z^2 + \frac{C}{3} Z^3 \right] \text{ gpm} \quad (6.2.22)$$

Opmerking: In de WMO-formule wordt in geval van geaccidenteerd terrein nog een extra term $+0.0001118 \Delta h$ in rekening gebracht. Δh is het verschil tussen de lokale terreinhoogte en de gemiddelde terreinhoogte binnen een cirkel van 150 km rond het waarnemingspunt, beide t.o.v. zeeniveau. In De Bilt kan men gevoeglijk $\Delta h = 0$ stellen.

6.3 Vereffening van de hoogte

In geval van een synchrone meting zijn Z_{sonde} en Z_{radar} realisaties van één en dezelfde parameter. Men kan dan de vereffeningprocedure toepassen. Aangezien bij de hoogteberekening echter geen gemeenschappelijke basisgegevens (meetvariabelen) een rol spelen, blijkt theoretisch dat de vereffende hoogte bestaat uit een gewogen gemiddelde van de radarhoogte Z_{radar} en de sondehoogte Z_{sonde} . De kritische gewichtsfactoren zijn eenvoudig evenredig met de σ^2 van beide expressies.

Toepassing van de foutenvoortplantingswet op (6.2.17) geeft:

$$\sigma_{Z_{\text{radar}}}^2 = \frac{1}{\mu_3^2} (\mu_1^2 \sigma_T^2 + \mu_2^2 \sigma_E^2) \quad (6.3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{waarbij: } \mu_1 &= \sin \varepsilon + \frac{r}{R} \\ \mu_2 &= \cos \varepsilon \\ \mu_3 &= 1 + \frac{Z}{R} \end{aligned} \quad (6.3.2)$$

terwijl σ_ε staat voor $r \sigma_\varepsilon$.

Men zou geneigd zijn, uitgaande van (6.2.2), op dezelfde manier te werk te gaan om $\sigma_{Z_{\text{sonde}}}$ uit te drukken in de σ 's van de P, T en U.

Dit is niet correct. Het zijn namelijk de systematische fouten in P, T en U, die de nauwkeurigheid van Z_{sonde} beïnvloeden. Deze werken bij integratie van (6.2.1) cumulatief door in de hoogte; de toevallige fouten daarentegen worden door het integratieproces uitgefilterd.

$\sigma_{Z_{\text{radar}}}$ is dus een maat voor de deviatie van het hoogteprofiel in een ensemble van opstijgingen. De optimale expressie voor Z wordt dan:

$$S(Z) = \frac{\sigma_{Z_{\text{radar}}}^2 Z_{\text{sonde}} + \sigma_{Z_{\text{sonde}}}^2 Z_{\text{radar}}}{\sigma_{Z_{\text{radar}}}^2 + \sigma_{Z_{\text{sonde}}}^2} \quad (6.3.3)$$

en de minimum variantie:

$$\sigma_S^2(Z) = \frac{\sigma_{Z_{\text{radar}}}^2 \cdot \sigma_{Z_{\text{sonde}}}^2}{\sigma_{Z_{\text{radar}}}^2 + \sigma_{Z_{\text{sonde}}}^2} \quad (6.3.4)$$

Als men Z vervangt door de geopotential H, uitgedrukt in gpm, dan wordt uiteindelijk

$$S(H) = \frac{\mu_3^2 \sigma_H^2 H_{\text{radar}} + (\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_\varepsilon^2) H_{\text{sonde}}}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_\varepsilon^2 + \mu_3^2 \sigma_H^2} \quad (6.3.5)$$

en de erbijbehorende minimumfout:

$$\sigma_S^2(H) = \frac{\mu_1^2 \sigma_r^2 \sigma_H^2 + \mu_2^2 \sigma_\varepsilon^2 \sigma_H^2}{\mu_1^2 \sigma_r^2 + \mu_2^2 \sigma_\varepsilon^2 + \mu_3^2 \sigma_H^2} \quad (6.3.6)$$

De numerieke processing van deze formules is gemakkelijk door te voeren, indien men een goede schatting heeft van de foutenmatrix S:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_\epsilon^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_H^2 \end{bmatrix} \quad (6.3.7)$$

De fabrikant claimt voor de Selenia Meteor 200 RMT/1C radar de volgende standaardfouten:

$$\begin{aligned} \sigma_\epsilon &= \sigma_\alpha = 0.1^\circ = 1.745 \text{ m radian} \\ \sigma_r &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

Deze waarden zijn opgrond van de ervaring acceptabel. Moeilijker is het een waarde voor σ_H vast te stellen. Vooral ten gevolge van een systematische fout in de luchtdruk kan σ_H sterk toenemen met de hoogte.

Uit een publikatie van Harrison [1962] kan voor de Britse Mark II B sonde een relatieve fout van 2% worden afgeleid. Bij een foutloze temperatuurmeting zouden hiermee de volgende standaardfouten in de geopotentiaal corresponderen: in het 700 mbar-vlak 2.5 gpm, in het 500 mbar-vlak 8.5 gpm en in het 300 mbar-vlak 28 gpm. Boven 20 km hoogte is de deviatie evenwel meer dan 2%. In het rekenmodule is daarom geen lineair maar een exponentieel verloop van σ_H met de hoogte geïntroduceerd:

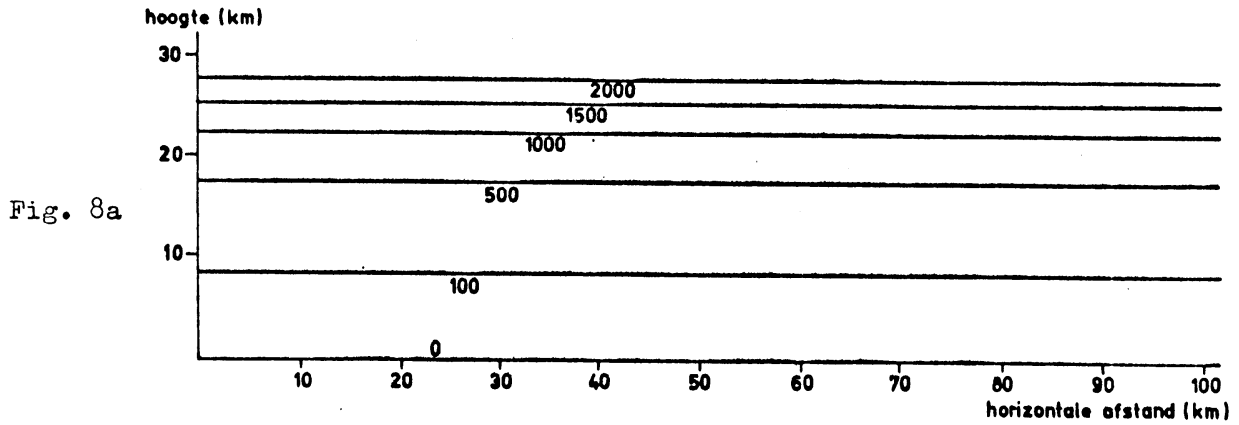
$$\sigma_H = 50 (e^{0.00013H} - 1)$$

Dit verloop geeft een betere aansluiting met de door Harrison gepubliceerde meetpunten.

De foutenmatrix S in het rekenschema wordt dan:

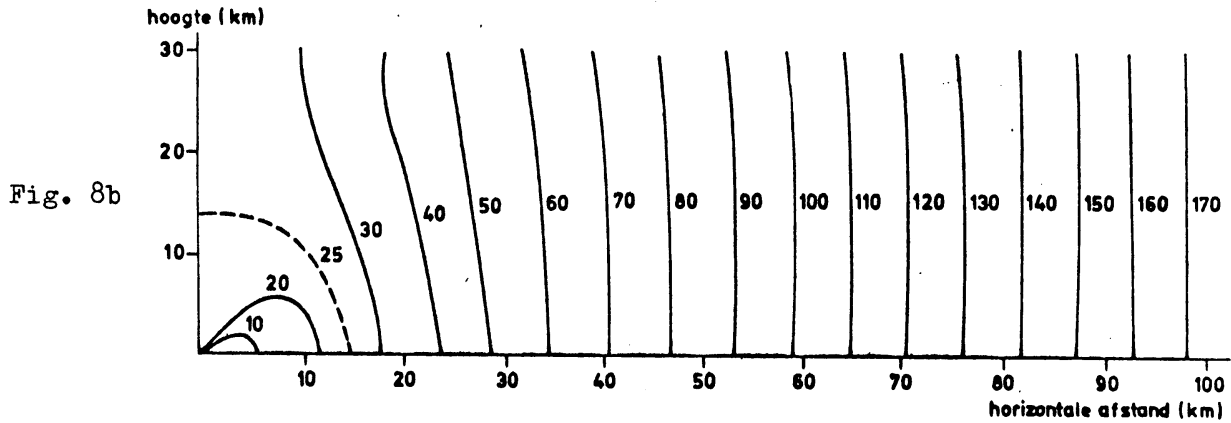
$$S = \begin{bmatrix} 25^2 & 0 & \\ 0 & 0.00174^2 & \\ 0 & 0 & [50(e^{0.00013H} - 1)]^2 \end{bmatrix} \quad (6.3.8)$$

Figuur 8a toont het veld van isoplethen voor $\sigma_{H_{\text{sonde}}}$ in een vertikaal vlak. Figuur 8b overeenkomstig voor $\sigma_{H_{\text{radar}}}$ en figuur 8c de isoplethen voor $\sigma_{S(H)}$ bij vereffening.



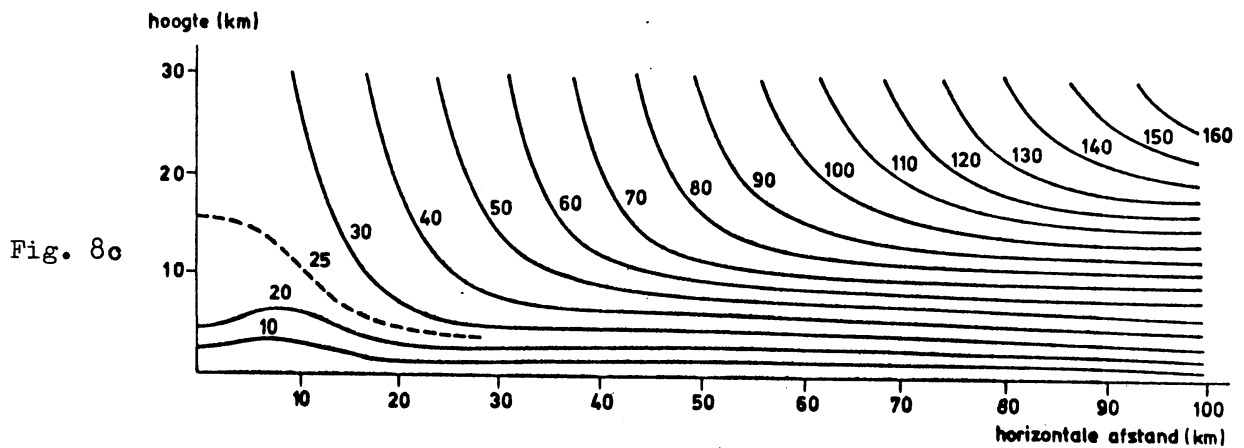
Isoplethen voor de standaardfout $\sigma_{h,sonde}$ in een vertikaal vlak (gpm)

$$\sigma_{h,sonde} = 50 (e^{0.00013H} - 1)$$



Isoplethen voor de standaardfout $\sigma_{h,radar}$ in een vertikaal vlak (gpm)

$$\sigma_R = 25 \text{ m}, \sigma_\epsilon = 0.1^\circ$$



Isoplethen voor de standaardfout σ_h bij vereffening in een vertikaal vlak (gpm)

$$\sigma_R = 25 \text{ m}, \sigma_\epsilon = 0.1^\circ, \sigma_{h,sonde} = 50 (e^{0.00013H} - 1)$$

Duidelijk komt tot uiting dat bij vereffening H_{sonde} domineert in de lagere niveaus, maar op grote hoogte de radarhoogte H_{radar} .

Bij asynchrone (gecombineerde) radiosonde/radar metingen kunnen de vereffeningformules handhaven en één van de σ 's de waarde inf. toekennen. Hierdoor resulteert of H_{sonde} of H_{radar} .

Men zou als derde onafhankelijke waarde voor de hoogte nog kunnen toevoegen:

$$Z = At \quad (6.3.9)$$

waarbij A de gemiddelde stijgsnelheid voorstelt. A kan worden afgeleid uit nomogrammen op basis van het mee te voeren gewicht en type ballon. De nauwkeurigheid laat echter te wensen over. Daarom zal uitbreiding van de vereffeningprocedure voor 3 onafhankelijke realisaties van de hoogteparameter weinig effect sorteren.

Hiaten in de meting

In de praktijk komt het nogal eens voor, dat de radar bij het automatisch volgen het doel "verliest", waardoor hiaten in de meting optreden. De hiaten worden dan opgevuld door de hoogte te interpoleren. Ook extrapolatie kan noodzakelijk zijn, bijv. wanneer het doel buiten bereik van de radar komt of om andere redenen niet meer te volgen is. Het rekenschema kan dan onverminderd worden gehandhaafd als de radarhoogte wordt geëxtrapoleerd, temeer omdat op grote hoogte deze parameter betrouwbaarder is dan de overeenkomstige radiosondehoogte.

6.4 Windbepaling

Voor de windbepaling kunnen we verwijzen naar het vereffeningsschema in hoofdstuk 5. Er zijn 3 alternatieven vermeld voor het verkrijgen van de horizontale afstand.

In het systeemontwerp hebben we de keuze laten vallen op een combinatie in de (h,r) en (r,ϵ) mode, formule (5.33).

Door $\sigma_H \rightarrow \text{inf}$ te stellen kan men dit schema ook toepassen op een radarwindwaarneming sec. Men kan in dit geval ook H_{sonde} vervangen door de hoogte, die kan worden geschat uit de stijgsnelheid, formule (6.3.9). In het ontwerp is voor dit laatste gekozen.

Ook nu is informatie vereist omtrent de inhoud van de foutmatrix S , zie (6.3.7). Op het element σ_H na is de inhoud van S dezelfde als bij de hoogtebepaling, vgl (6.3.8). Terwijl bij de hoogteberekening σ_H een maat is voor de hoogte-deviatie in een ensemble van opstijgingen, moet hier gelet worden op het effect van de ruis in een individuele oplating, zoals die wordt bewerkstelligd door toevallige fouten in de meting van P , T en U .

De keuze van een waarde voor σ_H wordt vooral bemoeilijkt door het nevenverschijnsel, dat door integratie van (6.2.1) deze ruis gedeeltelijk wordt onderdrukt. In het ontwerp is $\sigma_H = 20$ gpm verondersteld in het gehele meetbereik, zodat

$$S = \begin{vmatrix} 25^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00174^2 & 0 \\ 0 & 0 & 20^2 \end{vmatrix} \quad (6.4.1)$$

Hoewel de "thermische" ruis door toepassing van de vereffenings-procedure belangrijk wordt gereduceerd, blijkt in de praktijk het resulterende windprofiel toch nog irreële fluctuaties te vertonen. Dit manifesteert zich in de onregelmatige ligging van de meetpunten langs de ballonbaan. Om de signaal-ruis verhouding te verbeteren, is het gebruikelijk de plotbaan te "soigneren". Manueel vereist dit een belangrijke mate van artistociteit, zodat de windbepaling onvermijdelijk een subjectief element in zich bergt. Wil men het soigneren numeriek nabootsen, dan zal men een (objectief bepaalde) gladstrijkoperator moeten formuleren, die in het gehele meetbereik van toepassing is. Het is bekend dat voor het wegfilteren van thermische ruis een groot arsenaal van numerieke hulpmiddelen ter beschikking staat. Daarbij staat de enorme snelheid van de moderne rekenmachines de toepassing van geavanceerde gladstrijkoperaties niet in de weg, maar desondanks blijft de keuze van een geschikte operator moeilijk. Om niet met de ruis ook te veel reële windfluctuaties te onderdrukken, is in het KNMI-ontwerp gekozen voor een operatie die berust op het principe van foutafhankelijk gladstrijken. Volgens dit principe wordt een gladstrijkoperatie alleen dan in werking gesteld, indien een bepaalde meetfout een gegeven drempelwaarde overschrijdt.

In het concrete geval van de windmeting kan een gladstrijkoperatie worden toegepast op azimuth-waarden en/of horizontale afstanden alvorens de verplaatsingsvector (wind) wordt uitgerekend.

Beschouw Fig. 9. Bij een normale foutenverdeling bevindt in projectie het meetpunt P_1 zich met een kans van 68% binnen een σ -foutenellips met assen σ_{d_1} en $d_1 \sigma_a$ en middelpunt in de ware positie. Idem bevindt zich punt P_2 met een kans van 68% binnen de σ -foutenellips met assen σ_{d_2} en $d_2 \sigma_a$ en middelpunt in de ware positie. Bij vereffening zijn de assen: $\sigma_{S(d)}$ en $S(d) \sigma_a$.

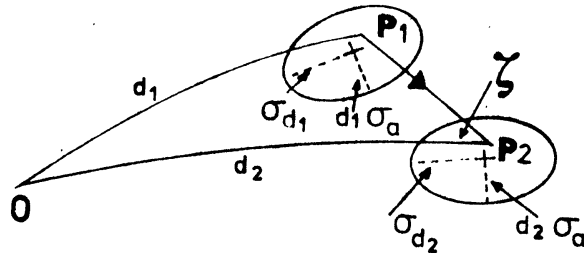


Fig. 9 Analysefiguur ter verduidelijking van een gladstrijkoperatie.

Oriëntatie en grootte van de ellipsen zijn afhankelijk van de modes waarin de windbepaling plaatsvindt. De assen zijn gericht naar de oorsprong en loodrecht hierop.

Laat

$$a_1 = \sigma_{d_1} + \sigma_{d_2} \quad (6.4.2)$$

$$a_2 = d_1 \sigma_a + d_2 \sigma_a \quad (6.4.3)$$

Beschouw nu de verplaatsingsvector $\overrightarrow{P_1 P_2} = v \Delta t$. Ontbindt deze in componenten radiaal naar de oorsprong en loodrecht hierop.

$$c_1 = |v| \Delta t \cos \zeta \quad (6.4.4)$$

$$c_2 = |v| \Delta t \sin \zeta \quad (6.4.5)$$

ζ is de hoek tussen de windvector v en de voerstraal naar 0. Indien de foutenellipsen in verhouding tot de verplaatsingsvector klein zijn, bijv. wanneer ze elkaar niet overlappen, dan heeft gladstrijken weinig zin.

Men kan nu voor het toepassen van een gladstrijkoperatie het volgende criterium aanleggen:

		gladstrijkoperatie
$c_1 \geq ka_1$	$c_2 \geq ka_2$	geen
$c_1 \geq ka_1$	$c_2 < ka_2$	alleen a
$c_1 < ka_1$	$c_2 \geq ka_2$	alleen d
$c_1 < ka_1$	$c_2 < ka_2$	beide

Het criterium kan naar believen worden verscherpt of afgezwakt door keuze van de instelbare faktor k, afhankelijk van waarschijnlijkheidsgrenzen. (k = 1 : 68%, k = 2 : 95%, k = 3 : 99%).

Wat de operatie zelf betreft, kan men een lineaire dan wel parabolische of hogere graadsaanpassing toepassen volgens de kleinste kwadraten methode in 3,5 ... opvolgende minuutpunten.

In het ontwerp is een 5-punts aanpassing gekozen van de vorm:

$$\bar{y}_0 = \frac{1}{35} (-3y_{-2} + 12y_{-1} + 17y_0 + 12y_1 - 3y_2) \quad (6.4.6)$$

Experimenteel is vastgesteld dat een bevredigende simulatie van het "soigneren" wordt verkregen bij keuze van k=2 (95%). Wil men het gehele profiel gladstrijken, dan stelt men k in op inf. Voor k=0 vindt er in het gehele profiel geen gladstrijkoperatie plaats.

Tot slot zij opgemerkt, dat in het model geen windgegevens geïnterpoleerd worden als er in de meetserie van de radar hiaten voorkomen.

6.5 Secundaire gegevens

Bij beschouwing van het gegevensbestand (Bijlage D) blijkt dat een groot aantal secundaire gegevens berekend moet worden in niet-karakteristieke punten, zoals de standaarddruk niveaus, tropopauze, 0-graden-niveau en bepaalde geometrische niveaus. (max. wind). De vereiste berekeningen zijn alleen uitvoerbaar als men tussen karakteristieke punten een zeker verband tussen de temperatuur en de hoogte (geopotentiaal) postuleert. Het meest aanvaardbaar is een constante temperatuurgradiënt, in het midden latend of de virtuele temperatuur of de temperatuur sec wordt bedoeld.

Stelt men

$$dH = \frac{dT}{a}, \quad a = \text{constant} \neq 0 \quad (6.5.1)$$

dan leidt substitutie hiervan in de statische grondvergelijking (6.2.1) in de vorm:

$$dH = \frac{-RT}{9.8} d \ln P \quad (6.5.2)$$

tot

$$d \ln T = -\frac{Ra}{9.8} d \ln P$$

$$\text{of} \quad \frac{P^\mu}{T} = \text{constant} \quad (6.5.3)$$

$$\mu = \frac{Ra}{9.8} \quad (6.5.4)$$

Blijkbaar is in een atmosfeerlaag, waarin de (virtuele) temperatuurgradiënt constant is, $\frac{P^\mu}{T}$ een invariant langs de toestandskromme. In de statica heersen in de laag de condities van een polytrope atmosfeer. Men kan op velerlei wijze van deze approximatie (6.5.3) gebruikmaken.

Luchtdrukberekening

De luchtdrukberekening is essentieel bij toepassing van de rasonneermethode. Men beschikt dan over T_i, U_i en H_i -waarden in karakteristieke punten en wenst de drukwaarden P_i te berekenen.

In de laag ($i, i-1$) postuleert men een constante virtuele temperatuurgradiënt. Dan volgt uit (6.5.3):

$$\frac{P_i^\mu}{T_{v,i}} = \frac{P_{i-1}^\mu}{T_{v,i-1}}$$

of met (6.5.4):

$$P_i = P_{i-1} \left(\frac{T_{v,i-1}}{T_{v,i}} \right)^{\frac{9.8}{R} \frac{H_i - H_{i-1}}{T_{v,i} - T_{v,i-1}}} \quad (T_{v,i} \neq T_{v,i-1}) \quad (6.5.5)$$

In een isotherme laag $T_{v,i} = T_{v,i-1}$ dient men echter een andere expressie te gebruiken. Dan volgt uit integratie van (6.5.2):

$$P_i = P_{i-1} e^{\frac{-9.8(H_i - H_{i-1})}{RT_{v,i}}} \quad (T_{v,i} = T_{v,i-1}) \quad (6.5.6)$$

De druk P_{i-1} en de virtuele temperatuur $T_{v,i-1}$ zijn bekend als het proces laag voor laag wordt uitgevoerd, te beginnen bij het grondpunt. Aangezien de virtuele temperatuur drukafhankelijk is, moet bij het berekenen van $T_{v,i}$ een geschatte drukwaarde worden ingevoerd. In het ontwerp wordt hiervoor de druk in de ICAO standaardatmosfeer genomen bij een gegeven geopotentiaal H_i .

In de standaardatmosfeer hebben de expressies voor de luchtdruk precies dezelfde vorm als (6.5.5) en (6.5.6):

$$P = P_o \left(\frac{T}{T + aH} \right)^{\frac{9.8}{Ra}} \quad (a \neq 0) \quad (6.5.7)$$

$$P = P_o e^{-\frac{9.8H}{RT}} \quad (a = 0) \quad (6.5.8)$$

De constanten nemen de volgende modelwaarden aan:

H gpm	P_o mbar	T °K	a °K m ⁻¹
H < 11000	1013.25	288.15	-0.0065
11000 ≤ H < 20000	226.32	216.65	0
20000 ≤ H < 32000	54.7487	216.65	0.001
H ≥ 32000	8.68014	228.65	0.0028

R = 287.05

Men berekent dus eerst op basis van T_i , U_i en H_i een voorlopige waarde $T_{v,i}$ [$P_{stand.}(H_i)$, T_i, U_i]. Daarna wordt ter verkrijging van P_i formule (6.5.5) of (6.5.6) geëvalueerd en wordt met de berekende P_i -waarde een nieuwe waarde $T_{v,i}$ bepaald. Men zou dit proces in een iteratie-cyclus kunnen voortzetten tot de P_i -waarde voldoende is gestabiliseerd maar experimenteel is vastgesteld, dat de eerste stap reeds voldoende is.

Opmerking: Bij het rasonneren wordt nadat de P_i berekend zijn, de bewerking hervat als ware de P_i, T_i, U_i -waarde in de karakteristieke punten bekend. Methodisch is dit het eenvoudigst; de herberekening (van H_i) levert bovendien een verfijning op.

Interpolatie

Voor het bepalen van de P,T,U,H-waarden in niet-karakteristieke punten is men genoodzaakt te interpoleren tussen de waarden in de karakteristieke punten. Men onderscheidt in de praktijk 3 gevallen:

geval	voorgeschreven	gevraagd	voorbeeld
A	P	T,U,H	standaarddruk niveaus
B	T	P,U,H	0-gradenniveau
C	H	P,U,T	tropopauze, max. wind

Geval A. Eerst wordt vastgesteld tussen welke karakteristieke niveaus het drukpunt zich bevindt:

$$P_{j-1} \geq P > P_j$$

Voor een waarde van de temperatuur T kan men gebruikmaken van (6.5.3):

$$\frac{P^\mu}{T} = \frac{P_{j-1}^\mu}{T_{j-1}} = \frac{P_j^\mu}{T_j}$$

of

$$T = T_{j-1} \left(\frac{P}{P_{j-1}} \right)^\mu \tag{6.5.9}$$

$$\mu = \frac{\ln T_j/T_{j-1}}{\ln P_j/P_{j-1}} \tag{6.5.10}$$

Indien $T_j = T_{j-1}$, dan wordt $T = T_j = T_{j-1}$ (isothermie).

Ter verkrijging van U interpoleert men op basis van de logaritmie van de druk:

$$U = \frac{\ln P/P_j U_{j-1} + \ln P_{j-1}/P U_j}{\ln P_{j-1}/P_j}$$

Daarna berekent men uit T, U en P de virtuele temperatuur T_v en tenslotte met de hoogteformule (6.2.2) de geopotentiaal H.

Geval B. Men bepaalt eerst tussen welke markante punten het temperatuurpunt zich bevindt:

$$T_j \geq T > T_{j-1}$$

of

$$T_j \leq T < T_{j-1}$$

$$T_j \neq T_{j-1}$$

In een polytrophe laag hoort hierbij de volgende waarde voor de geopotential:

$$H = \frac{(T - T_{j-1}) H_j + (T_j - T) H_{j-1}}{T_j - T_{j-1}} .$$

Eenzelfde lineaire interpolatie op basis van de geopotential levert een waarde voor U:

$$U = \frac{(H - H_{j-1}) U_j + (H_j - H) U_{j-1}}{H_j - H_{j-1}} .$$

Daarna kan men een luchtdrukberekening toepassen, zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk, gebruikmakende van een schatting $T_v(P_{\text{stand.}}(H), T, U)$ en de set $(H_{j-1}, T_{v,j-1}$ en $P_{j-1})$. Ook zou P verkregen kunnen worden uit (6.5.9) in de vorm:

$$P = P_{j-1} \left(\frac{T}{T_{j-1}} \right)^{\ln P_{j-1}/P_j / \ln T_{j-1}/T_j} \quad (6.5.11)$$

Geval C. Eerst wordt weer bepaald tussen welke karakteristieke punten het geometrische niveau H zich bevindt:

$$H_{j-1} \leq H < H_j .$$

Op basis van de geopotential volgt met lineaire interpolatie:

$$T = \frac{(H - H_{j-1}) T_j + (H_j - H) T_{j-1}}{H_j - H_{j-1}} .$$

Op basis van de geopotential volgt met lineaire interpolatie ook een waarde voor U:

$$U = \frac{(H - H_{j-1}) U_j + (H_j - H) U_{j-1}}{H_j - H_{j-1}}$$

Tenslotte kan men weer de in dit hoofdstuk beschreven luchtdrukberekening toepassen met een schatting $T_v [P_{\text{stand.}}(H), T, U]$ en de set $(H_{j-1}, T_{v,j-1}$ en $P_{j-1})$ of men kan P afleiden uit de formule (6.5.11) hierboven.

Opmerking: Al deze interpolatieschema's vertonen een bepaalde tekortkoming, omdat niet overal rigoureuus een virtuele temperatuur-interpolatie wordt toegepast. Men zou de schema's, wat elektronisch goed uitvoerbaar is, kunnen verbeteren door op verschillende plaatsen iteratie cycli in te lassen. In het ontwerp is hiervan afgezien, omdat het effect gering is en voldoende aan de gestelde eisen wordt voldaan.

Wind-interpolatie. Op diverse niveaus, o.a. in de karakteristieke punten, dient de heersende wind te worden bepaald. De windhodograaf is beschikbaar in de vorm van minuutwaarden $\vec{v}(t_n)$ en de daarbijbehorende geopotentiële hoogte $H(t_n)$. Is voor een gegeven niveau hetzij de tijd t , hetzij de geopotential H (of beide) bekend, dan wordt vastgesteld tussen welke minuutpunten het betreffende niveau zich bevindt. Daarna wordt door toepassing van een componentsgewijze lineaire interpolatie de geïnterpoleerde wind in dit niveau berekend. Opgemerkt wordt, dat in de praktijk hiaten in de windhodograaf kunnen voorkomen. Dan kan ook een windgegeven in een voorgeschreven niveau ontbreken.

7. Verdere thermodynamische informatie

Dauwpunt.

Volgens definitie is het dauwpunt die temperatuur, waarbij de dampspanning gelijk wordt aan de verzadigingsdampspanning. Dit houdt in, dat deze thermodynamische grootheid verkregen zal moeten worden uit de Goff-Gratsch formule (6.2.11) en de relatieve vochtigheid. Gebruikmakend van Newton's Regula Falsi methode, vindt men bij benadering:

$$T_{d,n+1} = T_{d,n} + \frac{e - E(T_n)}{E'(T_n)} \quad (7.1)$$

E is maximale dampspanning

$$E' = \frac{dE}{dT}$$

$$e = \frac{U E(T)}{100} \quad \text{aktuele dampspanning}$$

Bij deze iteratie-cyclus geldt dat

$$T_d = \lim_{n \rightarrow \infty} (T_{d,n})$$

Uit de Goff-Gratsch formule (6.2.11) leidt men af:

$$\begin{aligned} E'(T) &= \frac{E(T)}{T^2} \left(-4916.81 T^2 \cdot 10^{-0.0303998 T} \right. \\ &\quad - 5.02808 T + 6795 \\ &\quad \left. + 174209 \cdot 10^{-\frac{1302.884}{T}} \right) \\ &= \frac{E(T)B}{T^2} \end{aligned} \quad (7.2)$$

zodat

$$T_{d,n+1} = T_{d,n} + \frac{(e - E(T_n)) T_n^2}{E(T_n) B} \quad (7.3)$$

De iteratie start met een gemeten waarde T . Voor $n=0$ wordt dus $T_0 = T$ gesubstitueerd en de daarbijbehorende verzadingsdampspanning $E(T_0)$ berekend. De nieuwe waarde T_1 , die uit (7.3) volgt, geldt als een volgende benadering. Bij deze T_1 wordt $E(T_1)$ bepaald. Met T_1 en $E(T_1)$ volgt uit (7.3) een nieuwe waarde T_2 enz. De iteratie wordt voortgezet tot de successieve benaderingen van de T_n minder dan 0.05°C van elkaar verschillen. Experimenteel is aangetoond dat binnen het gehele temperatuur- en vochtigheidsbereik maximaal 5 iteratiestappen nodig zijn.

Opmerking: Men zou ook gebruik kunnen maken van een uitdrukking voor het dauwpunt, die afgeleid kan worden uit de formule van Magnus voor de maximale dampspanning, zie Koschmieder [1951].

$$T_d = \frac{-13.702 \ln \frac{U \cdot E(T)}{610.78}}{-1 + 0.0575 \ln \frac{U \cdot E(T)}{610.78}} \quad (7.4)$$

afgeleid uit de formule van Magnus:

$$E(T) = 6.10 \cdot 10^{\frac{7.45 T}{235+T}} \quad (7.5)$$

T = temperatuur van de waterdamp.

Het resultaat blijkt evenwel niet bevredigend te zijn, omdat (7.5) de maximale dampspanning slechter benadert dan de Goff-Gratsch formule. In de code wordt niet het dauwpunt zelf berekend, maar het dauwpuntsdeficiet $T - T_c$.

Potentiële temperatuur

In het ontwerp wordt o.a. de potentiële temperatuur voor een aantal niveaus berekend.

Uit de tweede hoofdwet van de thermodynamica volgt door specialisering de adiabatenvergelijking (Poisson):

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{c_p - c_v}{c_p}} \quad (7.6)$$

$c_p = 0.241 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ soortelijke warmte voor constante druk

$c_v = 0.172 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ soortelijke warmte voor constant volume

zodat

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0.285} \quad (7.7)$$

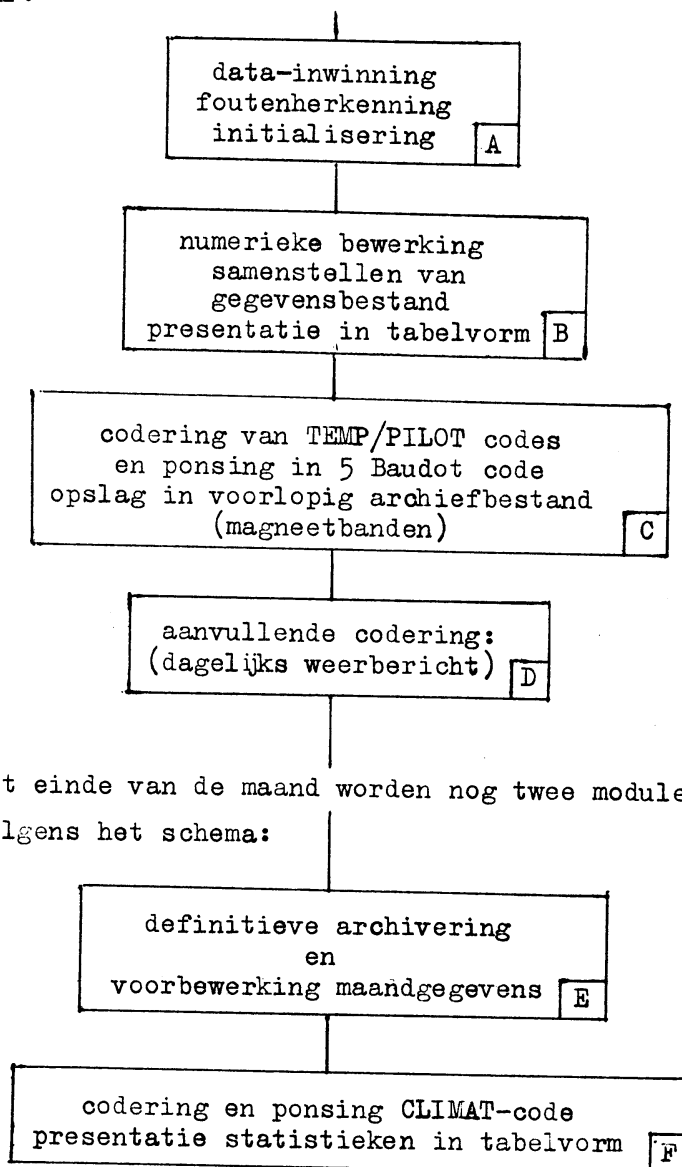
Door keuze van $p_1 = 1000 \text{ mbar}$ definieert men de potentiële temperatuur θ , d.w.z. de temperatuur, die een luchtdeeltje zou verkrijgen als het adiabatisch op het 1000 mbar-vlak gebracht werd:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.285} \quad (7.8)$$

Andere thermodynamische grootheden, zoals dichtheid, geluidssnelheid, brekingsindex enz., worden niet gecodeerd en zijn ook niet in het gegevensbestand opgenomen. In principe zou het bestand met dergelijke gegevens kunnen worden uitgebreid maar o.a. omwille van de rekentijd is dit achterwege gelaten.

8. Het informatieverwerkend proces

Het programmapakket is opgebouwd "onder architectuur" uit modules waarbij de informatiestroom tussen de verschillende modules plaatsvindt via trommeltransport. Onderstaand blokschema toont de belangrijkste structuur:



Op het einde van de maand worden nog twee modules in werking gezet volgens het schema:

Men moet het schema als een tijdopname zien, omdat de modelvorming steeds in beweging is en de produktie in de loop van de tijd afgestemd moet worden op de veranderende eisen van de gebruikers.

A - Dit module omvat de volgende activiteiten:

a) Data-acquisitie.

Nadat de gegevens in de markante punten (P,T,U) en de radardata in minuutpunten zijn verzameld, worden deze tezamen met aanvullende indicatieve gegevens in een bepaalde volgorde op de teleprinter gepost en ter verwerking aangeboden. Een voorbeeld van deze data-inwinning vindt men in bijlage E.

b) Foutenherkenning.

"Data screening" van de input-gegevens is een onmisbaar element in de procesgang. De input-gegevens dienen grondig te worden gecheckt om te voorkomen dat door foutief aflezen of ponsen van de basisgegevens de bewerking zou falen. In principe bestaat deze foutenherkenning uit een test op de meetgegevens, op basis van de volgende attributen:

- monotonie
- extreme grenswaarden
- tekenconventie
- variabiliteit van gegevens met de hoogte (gradiënten)
- variabiliteit van gegevens in de tijd.

De foutmeldingen signaleren alleen of bepaalde waarden suspect zijn. Visueel moet dan worden beoordeeld of de betreffende fouten aperte fouten zijn of niet. Men kan beslissen de bewerking voort te zetten of te onderbreken. In het laatste geval, als de fouten evident zijn, moeten deze worden hersteld.

c) Initialisering.

Het gegevensbestand waarin o.a. de meetgegevens worden opgeslagen, wordt geïnitieerd en de inhoud gespecificeerd, hetzij met voorgeschreven waarden - bijvoorbeeld de standaarddrukwaarden - hetzij met "dummy-waarden". Het is dit bestand dat in de informatiestroom, via trommeltransport, verder wordt gepreciseerd door middel van de andere modules.

B - De rekenmodule vormt de kern van het informatieproces. De numerieke berekening geschiedt volgens een methodiek, die door een ingevoerd "sleutelgetal" wordt gespecificeerd. De resultaten van de berekening komen in het (vaste) gegevensbestand, dat de basis vormt voor de verdere procesgang. De berekeningsschema's zijn gebaseerd op de formulerings in de hoofdstukken 5, 6 en 7.

De methodieken waaruit een keuze gemaakt kan worden, zijn de volgende:

[P T U ; H, \vec{v}]	traditionele methode	} gecombineerde waarneming
[H T U ; P, \vec{v}]	rasonneren	
[H P T U ; \vec{v}]	vereffening	
[P T U ; H]	traditionele methode voor radiosonde- waarneming sec	
[H ; \vec{v}]	hoogtewindwaarneming sec	

Sommige gegevens uit het bestand, dat later wordt opgeslagen op magneetband, worden in tabelvorm gepresenteerd alvorens het bestand opnieuw verder wordt geëxpedieerd naar de trommel. Bijlage F toont een voorbeeld van de tabeluitvoer. Deze uitvoer is nog zeer beperkt gehouden. Het is denkbaar dat deze wordt uitgebreid op verzoek van de gebruiker.

C - Codering.

Uit het gegevensbestand, dat geproduceerd wordt door het rekenprogramma, wordt door een afzonderlijke routine een codebericht samengesteld. Het codebericht betreft één van de internationale codes voor waarnemingen in de hogere luchtlagen, t.w. FM 32.E PILOT, FM 32.E PILOT SHIP, FM 35.E TEMP en FM 36.E TEMP SHIP. De PILOT- en TEMP-code zijn afgedrukt in Bijlage B. Voor de betekenis en specificatie van groepen, symbolische letters en cijfers zij verwezen naar de WMO-publikatie Vol B WMO-Nr.9 TP.4.

De inhoud, compacte vorm en splitsing van het codebericht in 4 secties (part A, B, C en D) alsmede de soms gecompliceerde codespecificaties hebben tot gevolg, dat hoge eisen worden gesteld aan de formalisering van de code ten behoeve van de programmering. Voor de "vertaling" van de code in mathematische vorm geven de Notes in het algemeen voldoende richtlijnen. Er zijn echter uitzonderingen, waardoor het noodzakelijk

wordt een eigen interpretatie te geven. Dit betreft o.a. de algorithmes voor het opsporen van de markante windpunten en tropopauzeniveaus. Nadere bijzonderheden vindt men in bijlage C. De verklarende tekst (zie Notes) suggereert dat bij deze formulering veelvuldig gebruikgemaakt moet worden van logische expressies.

Enkele voorzieningen zijn vereist bij de behandeling van ontbrekende gegevens. Sommige berichten vereisen een speciale heading - toevoeging van afkortingen COR, NIL, MIS, RTD in de kop van het bericht - om aan te geven dat er sprake is van respectievelijk een correctiebericht, geen bericht, een ontbrekend bericht - bijv. in het geval dat alleen parts A en B worden gecodeerd, later gevolgd door parts C en D - en vertraging. Voorts dient in de programmatuur een faciliteit te worden opgenomen om eventueel een extra codebericht te produceren, in het geval namelijk dat de radarwaarneming een grotere hoogte bereikt dan de radiosondewaarneming ("meerwind").

Dan wordt behalve een TEMP-bericht nog een PILOT-code vervaardigd voor het resterende deel van de waarneming.

Dit echter maakt, dat de codeprogrammering tamelijk gecompliceerd wordt. Het is duidelijk dat codewijzigingen belangrijk kunnen ingrijpen in het functioneren van het systeem.

In bijlage G zijn de TEMP- en PILOT-code afgedrukt, behorend bij de meetgegevens van bijlage E.

De code wordt in 5 Baudot-code uitgeponst, zodat het bericht onmiddellijk gereed is voor verzending over het internationale telecommunicatienetwerk. Daarna wordt in het module de opslag van het gegevensbestand naar twee (voorlopige) magneetbanden verzorgd.

D - Speciaal codebericht.

Ten behoeve van publikatie van de waarnemingen in het Dagelijks Weerbericht wordt nog een speciaal codebericht samengesteld en op de printer afgedrukt. Dit codebericht heeft dezelfde inhoud als de TEMP- of PILOT-code maar de vorm is iets gewijzigd. Vier van deze berichten worden in de volgorde 1200 TEMP, 0000 TEMP, 0600 PILOT en 1800 PILOT samengevoegd en fotografisch verkleind voor publikatie. Een voorbeeld vindt men in bijlage G.

E - Definitieve archivering.

Voor klimatologische doeleinden wordt het voorlopige archiefbestand, dat door module C van dag op dag is aangevuld, op het einde van de maand gesorteerd en geschoond. Sommige informatieblokken worden verwijderd of vervangen (correctieberichten, afkeuringsberichten). Ook worden, waar nodig, informatieblokken toegevoegd (bijv. bij ontbrekende waarnemingen). Tevens kunnen mutaties worden toegepast, bijv. bij gedeeltelijke afkeuring van een bericht. De bestanden komen op twee definitieve magneetbanden te staan, welke worden bewaard en gebruikt kunnen worden voor allerlei bewerkingen achteraf. Dit module voert vervolgens nog bepaalde voorbewerkingen uit, die noodzakelijk zijn voor het samenstellen van de CLIMAT-code.

- F - Dit module heeft de functie op basis van het maandarchief de internationaal voorgeschreven CLIMAT-code samen te stellen (zie bijlage G). Voorts presenteert dit module statistieken voor allerlei gegevens in standaardniveaus, o.a. die welke nodig zijn voor jaarstatistieken. Een voorbeeld van de afgifte van dit module treft men aan in bijlage H.

9. Besluit

Het informatieverwerkend proces, ontwikkeld voor de automatisering van de radiosonde/radarmeting, blijkt in de praktijk aan het gestelde doel te beantwoorden. In dit rapport kon op de architectuur niet in alle fines-ses worden ingegaan. Voor meer details moet worden verwezen naar een instructie, die is opgesteld ten dienste van de radiosonde- en computer-operateurs.

Na de realisatie van het systeem was een periode van uitvoerig door-testen van de programmatuur noodzakelijk om de onvolkomenheden op te sporen en te verbeteren. Door de flexibiliteit van het systeem kon niet alles worden gecheckt, zodat ook thans nog tijdens de operationele fase het systeem **zorgvuldig** moet worden bewaakt. Met name de operationele aspecten brengen met zich mee, dat de architectuur aan wijzigingen onderhevig is. Zo is het gelukt de verwerkingstijd per waarneming terug te brengen van 10 tot \pm 3 minuten. De bewerkingstijd van de maandgegevens duurt 15 à 20 minuten.

In het systeem vormt het ponsen van de meetgegevens nog een zwakke schakel maar dit ponswerk wordt in het systeem met module A voldoende **gescreend**, zodat foutieve bewerkingen vrijwel uitgesloten zijn. Naarmate men voldoende ervaring opdoet bij het bedienen van de teleprinter, zullen

de daardoor ontstane vertragingen nog maar sporadisch voorkomen. De snelheid, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het systeem openen het perspectief, dat het informatieverwerkend systeem in alle gewenste richtingen kan worden uitgebreid. Aangezien echter de X8 op het KNMI een machine is "which runs idle with a tremendous speed", zijn aan deze uitbreidingsmogelijkheden voorlopig nog grenzen gesteld.

LITERATUUR

- Bouman, D.J., en H.M. de Jong. 1964: A generalized theory of adjustment of observations.
KNMI Med. en verh., 102-84. 88 Pp.
- de Jong, H.M. 1958: Errors in upper-level wind computations.
Journ. meteor., 15, 131-137.
- de Jong, H.M. 1966: A new process for the evaluation of upper winds.
Journ. appl. meteor., 5, 436-449.
- Harrison, D.N. 1962: The errors of the Meteorological Office radiosonde Mark 2B.
Meteor. scient. papers, London, No. 15, 40 Pp.
- Koschmieder, H. 1951: Dynamische Meteorologie, 14-15.
- Linnik, Y.V. 1961: Method of least square and principle of the theory of observations.
Pergamon Press, 360 Pp.
- Töpfer, H.J. 1962: Automatisierung der Auswertung von Radiosondenaufstiegen. Elektronische Datenverarbeitung, 32-41.
- Wilkens, R. 1967: Darstellung und Diskussion eines Programms zur elektronischen Auswertung von Radiosondenaufstiegen.
Meteor. Abh. Fr. Univ. Berlin, Bd. 71, H. 1. 77 Pp.

BLLAGEN

- A. Het uitschakelen van het temperatuur- of vochtigheids-
element.
- B. De internationale codes FM 32.E en FM 35.E (PILOT/TEMP).
- C. Significante windpunten en Tropopauze.
- D. Gegevensbestand.
- E. Voorbeeld data-inwinning.
- F. Voorbeeld aërologische tabellen.
- G. Voorbeeld TEMP-, PILOT- en CLIMAT-code en code Dagelijks
Weerbericht.
- H. Voorbeeld klimatologische tabellen.

APPENDIXES

- A. The elimination of the temperature- or humidity sensor.
- B. The international codes FM 32.E and FM 35.E (PILOT/TEMP).
- C. Significant wind points and tropopause.
- D. Data file.
- E. Example data acquisition.
- F. Example aerological tables.
- G. Example TEMP-, PILOT- and CLIMAT-code and code for daily weather bulletin.
- H. Example climatological tables.

Het uitschakelen van het temperatuur- of vochtigheidselement

Bij synchrone radiosonde/radarmetingen kan men het drukelement elimineren en kan de bewerking door middel van de rasonneermethode worden uitgevoerd.

In principe kan ook òf het temperatuur- òf het vochtigheids-element worden uitgeschakeld. De overeenkomstige bewerkingsmethoden zijn in hoofdstuk 3.3 aangeduid met

$$\text{III} : \{ U P Z ; T \}$$

$$\text{IV} : \{ P T Z ; U \}$$

Vooraf methode III zou, mits op bruikbaarheid getoetst, aantrekkelijke kanten hebben, aangezien een precieze temperatuurmeting op stratosfeerhoogten problematisch is (straling, traagheid).

Zowel bij III als IV moet weer gebruikgemaakt worden van de statische grondvergelijking in de vorm:

$$T_v = - \frac{g}{R} \frac{dz}{d \ln P} \quad (1)$$

Bij gegeven waarden van T_v en P moet hierbij een waarde voor de aktuele temperatuur T of relatieve vochtigheid U worden bepaald. Dit is mogelijk door een iteratieproces uit te voeren, waarin o.a., de formule van Goff-Gratsch een rol speelt. Experimenteel is vastgesteld dat in het iteratieproces bij een tolerantie van $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ in T_v in het gehele meetbereik slechts 3 stappen nodig zijn zowel voor de temperatuur als de vochtigheid. Electronisch is de bewerking dus zeer snel. De berekende temperatuur verschilt slechts een paar tiende procent van de aktuele waarden.

Onderstaande tabellen vermelden enkele resultaten.

Tabel 1

P mbar	U %	T_v $^\circ\text{C}$	T $^\circ\text{C}$	T_{berekend} $^\circ\text{C}$	$ \Delta T $ $^\circ\text{C}$	aantal stappen
1000	50	44.45	40	40.15	0.15	2
500	50	-9.71	-10	-9.99	0.01	1
200	50	-39.90	-40	-40.00	0.00	1

Tabel 2

P. mbar	T °C	T _v °C	U %	U _{berekend} %	ΔU %	aantal stappen
1000	30	32.4	50	50.0	0.0	3
500	10	11.3	50	50.4	0.4	2
200	-30	-29.9	50	50.0	0.0	2

In de praktijk zal men (1) laag voor laag tussen de karakteristieke punten uitrekenen. Daarbij wordt de differentiaaluitdrukking vervangen door één met differenties:

$$\bar{T}_v = - \frac{g}{R} \cdot \frac{\Delta Z_{\text{radar}}}{\Delta \ln P} \quad (2)$$

Het vermoeden is gewettigd dat \bar{T}_v (en dus T of U) niet bijzonder accuraat kan zijn. Dit wordt op twee manieren bevestigd.

Men kan uit (2) gemakkelijk een uitdrukking afleiden voor de procentuele fout in \bar{T}_v :

$$\frac{\delta \bar{T}_v}{\bar{T}_v} = \frac{\delta \Delta Z_{\text{radar}}}{\Delta Z_{\text{radar}}} - \frac{\delta \Delta \ln P}{\Delta \ln P}$$

De procentuele fout in de (gemiddelde) virtuele temperatuur is derhalve wat grootte-orde betreft minstens gelijk aan de procentuele fout in de laagdikte bepaald met radar. Deze procentuele fout kan binnen de actieradius van de radar gemakkelijk tot enkele procenten oplopen, vooral bij geringe laagdikte, zodat ook de fout in \bar{T}_v verscheidene graden kan bedragen.

Een tweede bevestiging laat tabel 3 zien, waarin de resultaten staan van een elektronische berekening volgens (2). De kolommen voor de waarden van T_v en T (in de karakteristieke punten) laten overduidelijk zien dat de methode III beslist niet is aan te bevelen voor een praktische toepassing.

P mbar	U % aktueel	Z _{radar} gpm aktueel	T _v °C berekend	T °C berekend	T °C aktueel
1017.0	85	5	12.6	11.4	11.4
954.0	70	537	10.1	9.2	12.5
882.0	87	1178	1.8	1.1	6.6
696.0	80	3093	4.1	3.2	- 7.1
671.0	55	3378	-17.4	-17.5	- 7.1
595.0	43	4267	-23.4	-23.4	-13.1
533.0	56	5125	+10.4	9.1	-20.7
488.0	17	5780	-47.6	-47.6	-20.9
450.0	23	6399	+26.8	25.0	-25.3
342.0	35	8313	-87.5	-87.5	-39.5
249.0	39	10381	- 9.2	- 9.6	-57.5
244.0	39	10526	-51.9	-51.9	-56.0
237.0	37	10710	-61.1	-61.1	-56.3
212.0	30	11386	-71.4	-71.4	-51.5
125.0	-	14883	-20.7	-20,7	-49.7
83.2	-	17488	-91.1	-91.1	-52.5
36.5	-	22847	- 1.7	- 1.7	-50.3
8.3	-	32804	-80.7	-80.7	-37.1

UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION

FM 32.E

FM 32.E PILOT — Upper-wind report from land station

Part A

SECTION 1 M₁M₁M₁M₁ YYGGa₄ IIiii

SECTION 2 44nP₁P₁ }
 or 55nP₁P₁ } dfff dfff etc.

SECTION 3 77P_mP_mP_m }
 or 66P_mP_mP_m } d_md_mf_mf_mf_m (4vbVbVaVa)

7H_mH_mH_mH_m }
 or 6H_mH_mH_mH_m } d_md_mf_mf_mf_m (4vbVbVaVa)

or
 77999

Part B

SECTION 1 M₁M₁M₁M₁ YYGGa₄ IIiii

SECTION 4 9 }
 or 8 } t_nu₁u₂u₃ dfff dfff dfff

.....

9 }
 or 8 } t_nu₁u₂u₃ dfff dfff dfff

or
 21212 n₀n₀P₀P₀P₀ d₀d₀f₀f₀f₀
 n₁n₁P₁P₁P₁ d₁d₁f₁f₁f₁

 n_nn_nP_nP_nP_n d_nd_nf_nf_nf_n

SECTION 5 51515 }
 52525 } Code groups to be developed regionally
 }
 59595 }

SECTION 6 61616 }
 62626 } Code groups to be developed nationally
 }
 69696 }

(continued)

FM 32.E
(continued)

UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION

Part C

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGGa ₄	IIiii	
SECTION 2	44nP ₁ P ₁ or 55nP ₁ P ₁	} dfff	} dfff	} etc.
SECTION 3	77P _m P _m P _m or 66P _m P _m P _m or 7H _m H _m H _m H _m or 6H _m H _m H _m H _m or 77999			

Part D

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGGa ₄	IIiii		
SECTION 4	9 (or 1) or 8	} t _n u ₁ u ₂ u ₃	} dfff	} dfff	} dfff
				
	9 (or 1) or 8	} t _n u ₁ u ₂ u ₃	} dfff	} dfff	} dfff
	or				
	21212	n ₀ n ₀ P ₀ P ₀ P ₀	d ₀ d ₀ f ₀ f ₀ f ₀		
		n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁	d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁		
			
		n _n n _n P _n P _n P _n	d _n d _n f _n f _n f _n		
SECTION 5	51515 52525 59595	} Code groups to be developed regionally			
SECTION 6	61616 62626 69696	} Code groups to be developed nationally			

NOTES:

(1) PILOT is the name of the code form for an upper-wind report from a land station. A PILOT report is identified by M_iM_i = PP. The name PILOT shall not be included in the report.

UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION

FM 32.E
(continued)

(2) The code form is divided into a number of sections:

Section number	Indicator figures or symbolic figure groups	Contents
1	—	Identification and position data
2	44 or 55	Data for standard isobaric surfaces
3	6, 7, 66 or 77	Data for maximum wind level(s), with altitudes given in pressure units or units of geopotential decametres, and data for vertical wind shear
4	8, 9 (or 1) or 21212	Data for fixed regional levels and/or significant levels, with altitudes given either in geopotential units or in pressure units
5	51515 52525 59595	Regional codes
6	61616 62626 69696	

(3) Parts of PILOT

(i) The code form is divided into four parts, i.e. Parts A, B, C and D. Each of these parts is identified by M_jM_j as follows:

Part	Identifier letters (M_jM_j)
A	AA
B	BB
C	CC
D	DD

(ii) Each of the four parts of PILOT shall be coded as a separate report in the format specified in the symbolic form.

(4) Part A

(i) PILOT reports exchanged hemispherically shall always include Part A.

(ii) Part A shall contain data, in so far as available, *only* for levels up to and including the 100 mb level as follows:

- Identification and position data (Section 1);
- Data for the standard isobaric surfaces of 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 and 100 mb when pressure measurements and wind data are obtained simultaneously from the sounding (Section 2);
- When no pressure measurements are available, wind data shall be reported using geopotential approximations to the standard isobaric surfaces;
- Data for the level(s) of maximum wind speed, with altitudes given in pressure units of 1 mb or in units of geopotential decametres (Section 3).

(iii) Data for vertical wind shear are included in Section 3 on an optional basis.

(5) Part B

(i) Part B shall contain data, in so far as available, *only* for levels up to and including the 100 mb level as follows:

- Identification and position data (Section 1);

(continued)

FM 32.E**UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION***(continued)*

- (b) Fixed regional and/or significant levels, *either* with altitudes given in units of 300 metres or in units of 500 metres *or* with altitudes given in pressure units of 1 mb when pressure measurements and wind data are obtained simultaneously from the sounding (Section 4);
 - (c) Data determined by regional agreement and regionally developed code forms (Section 5);
 - (d) Data determined by national decision (Section 6).
- (6) Part C
- (i) PILOT reports exchanged hemispherically shall always include Part C.
 - (ii) Part C shall contain data, in so far as available, *only* for levels above the 100 mb level as follows:
 - (a) Identification and position data (Section 1);
 - (b) Data for the standard isobaric surfaces of 70, 50, 30, 20 and 10 mb when pressure measurements and wind data are obtained simultaneously from the sounding (Section 2);
 - (c) When no pressure measurements are available, wind data shall be reported using geopotential approximations to the standard isobaric surfaces;
 - (d) Data for the level(s) of maximum wind speed, with altitudes given in pressure units of $\frac{1}{10}$ mb or in units of geopotential decametres (Section 3).
 - (iii) Data for vertical wind shear are included in Section 3 on an optional basis.
- (7) Part D
- (i) Part D shall contain data, in so far as available, *only* for levels above the 100 mb level as follows:
 - (a) Identification and position data (Section 1);
 - (b) Fixed regional and/or significant levels, *either* with altitudes given in units of 300 metres or in units of 500 metres *or* with altitudes given in pressure units of $\frac{1}{10}$ mb when pressure measurements and wind data are obtained simultaneously from the sounding (Section 4);
 - (c) Data determined by regional agreement and regionally developed code forms (Section 5);
 - (d) Data determined by national decision (Section 6).
- (8) When reporting standard isobaric surfaces (Section 2) in Parts A and C, all standard surfaces within the sounding shall be represented by either a data group or a group of solidi (/////).
- (9) In Section 2 of Parts A and C, the data groups for the standard isobaric surfaces will appear in the coded report in ascending order with respect to altitude. The groups 44nP₁P₁ or 55nP₁P₁ may be repeated as necessary. When the standard isobaric surfaces were located by means of pressure equipment, indicator figures 44 are used. When the winds are reported at altitudes approximating the standard isobaric surfaces, indicator figures 55 are used.
- (10) Criteria for determining the maximum wind level(s):
- (i) A maximum wind level is a level at which the wind speed is greater than that observed immediately above and below that level.
 - (ii) For coding purposes, a maximum wind level:
 - (a) Is to be determined by consideration of the list of significant levels for wind speed, as obtained by means of the relevant recommended or equivalent national method (see Note (13) below), and *not* by consideration of the original wind-speed curve;

UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION

FM 32.E

(continued)

- (b) Shall be situated above the 500 mb isobaric surface and shall correspond to a speed of more than 30 metres per second.
- (iii) Whenever more than one maximum wind level exists, these levels shall be reported as follows:
- (a) The level of greatest maximum wind speed shall be transmitted first;
 - (b) The other levels shall be classified in descending order of speed, and be transmitted only if their speed exceeds those of the two adjacent minimal by at least 10 metres per second;
 - (c) Furthermore, the highest level attained by the sounding shall be transmitted, provided:
 - it satisfies the criteria set forth in paragraph (ii) (b) above;
 - it constitutes the level of the greatest speed of the whole sounding.
- (11) (i) When a maximum wind occurred within the sounding and its level was determined by means of pressure, the indicator figures 77 are used in the first group of Section 3, i.e. 77P_mP_mP_m.
- (ii) When the greatest wind speed observed throughout the sounding occurred at the top of the sounding and the level of the greatest wind was determined by means of pressure, the indicator figures 66 are used in the first group of Section 3, i.e. 66P_mP_mP_m.
- (iii) When a maximum wind occurred within the sounding and its altitude was expressed in geopotential decametres, the indicator figure 7 is used in the first group of Section 3, i.e. 7H_mH_mH_mH_m.
- (iv) When the greatest wind speed observed throughout the sounding occurred at the top of the sounding and the altitude of the greatest wind was expressed in geopotential decametres, the indicator figure 6 is used in the first group of Section 3, i.e. 6H_mH_mH_mH_m.
- (v) When a maximum wind is not observed or not transmitted, the group 77999 is reported in lieu of the maximum wind section, i.e. Section 3.
- (12) More than one maximum wind level may be reported by repeating the maximum wind section, i.e. Section 3.
- (13) The criteria for determining significant levels with respect to wind for international exchange are based on the premise that the significant data *alone* should make it possible to reconstruct the wind hodograph with sufficient accuracy. The accuracy required for practical use should be such as to ensure that:
- (a) The direction and speed curves (in function of the log of pressure or altitude) can be reproduced with their prominent characteristics;
 - (b) These curves can be reproduced with an accuracy of at least 10° for direction and 5 metres per second for speed;
 - (c) The number of significant levels is kept strictly to a necessary minimum.
- To satisfy these requirements, the following method of successive approximations is recommended, but other methods of attaining equivalent results may suit some national practices better and may be used:
- (i) The surface level and the highest level attained by the sounding constitute the first and the last significant levels.
 - (ii) The deviation from the linearly interpolated values between these two levels is then considered. If no direction deviates by more than 10° and no speed by more than 5 metres per second, no other significant level need be reported. Whenever one parameter deviates by more than the limit specified in paragraph (b) above, the level of greatest deviation becomes a supplementary significant level for *both*

(continued)

FM 32.E
(continued)

UPPER-WIND REPORT FROM LAND STATION

parameters. *Whenever possible, the level of greatest deviation shall always be taken amongst the extremes of the curves.*

Note : An extreme is to be understood as a point where the vertical gradient of the parameter changes its sign.

- (iii) The additional significant levels so introduced divide the sounding into several layers. In each separate layer, the deviations from the linearly interpolated values between the base and the top are then considered. The process used in paragraph (ii) above is repeated and yields other significant levels. These additional levels in turn modify the layer distribution, and the method is applied again until any level is approximated to the above-mentioned specified values.
- (iv) For the purpose of computational work, it should be noted that the values derived from a PILOT report present two different resolutions:
 - (a) Winds at significant levels are reported to the resolution of 5° in direction and 1 metre per second in speed;
 - (b) Any interpolated wind at a level between two significant levels is *implicitly* reported to the resolution of $\pm 10^\circ$ in direction and ± 5 metres per second in speed.
- (14) When the altitudes of regional fixed levels and/or significant levels are given in units of 300 metres, the indicator figure 9 is used in Section 4 up to the height of 29 700 metres; above this level, the indicator figure 1 is used instead of 9. When the altitudes of regional fixed levels and/or significant levels are given in units of 500 metres, the indicator figure 8 is used in Section 4. The indicator 1 specifies that 30 000 metres be added to the heights indicated by $t_1u_1u_2u_3$.
- (15) The fixed levels, i.e. Section 4, reported in Parts B and D are determined by regional decision.
- (16) In Parts B and D, i.e. Section 4, the altitudes of fixed regional and significant levels is reported *either* in geopotential units *or* in pressure units. Either of these methods, i.e. geopotential or pressure, of determining altitudes may be used but both of them may not be used in the same coded report.
- (17) The instructions regarding Parts A and B of the report with respect to the inclusion of "data up to and including 100 mb", and regarding Parts C and D with respect to the inclusion of "data above 100 mb" must *not* be contravened. For example, if data at or below 100 mb are not included in either Part A or B, as appropriate, they must *not* be included in Part C or D. In this instance the non-included data shall be transmitted separately in the form of a correction message.

UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION

FM 35.E

FM 35.E TEMP — Upper-level pressure, temperature, humidity and wind report from land station

Part A

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGGI _d	IIiii
SECTION 2	99P _o P _o P _o P ₁ P ₁ h ₁ h ₁ h ₁ P _n P _n h _n h _n h _n	T _o T _o T _{ao} D _o D _o T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁ T _n T _n T _{an} D _n D _n	d _o d _o f _o f _o f _o d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁ d _n d _n f _n f _n f _n
SECTION 3	88P _t P _t P _t	T _t T _t T _{at} D _t D _t	d _t d _t f _t f _t f _t
SECTION 4	77P _m P _m P _m } or 66P _m P _m P _m } or 77999	d _m d _m f _m f _m f _m	(4v _b v _b v _a v _a)

Part B

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGG/	IIiii
SECTION 5	n _o n _o P _o P _o P _o n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁ n _n n _n P _n P _n P _n	T _o T _o T _{ao} D _o D _o T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁ T _n T _n T _{an} D _n D _n	
SECTION 6	21212	n _o n _o P _o P _o P _o n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁ n _n n _n P _n P _n P _n	d _o d _o f _o f _o f _o d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁ d _n d _n f _n f _n f _n
SECTION 8	41414	N _h C _L hC _M CH	
SECTION 9	51515 } 52525 } } 59595 }	Code groups to be developed regionally	
SECTION 10	61616 } 62626 } } 69696 }	Code groups to be developed nationally	

(continued)

FM 35.E
(continued)

UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION

Part C

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGGI _d	IIiii
SECTION 2	P ₁ P ₁ h ₁ h ₁ h ₁	T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁	d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁

	P _n P _n h _n h _n h _n	T _n T _n T _{an} D _n D _n	d _n d _n f _n f _n f _n
SECTION 3	88P _t P _t P _t	T _t T _t T _{at} D _t D _t	d _t d _t f _t f _t f _t
SECTION 4	77P _m P _m P _m or 66P _m P _m P _m or 77999	d _m d _m f _m f _m f _m	(4v _b v _b v _a v _a)

Part D

SECTION 1	M _i M _i M _j M _j	YYGG/	IIiii
SECTION 2	n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁	T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁	
	
	n _n n _n P _n P _n P _n	T _n T _n T _{an} D _n D _n	
SECTION 6	21212	n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁	d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁
	
		n _n n _n P _n P _n P _n	d _n d _n f _n f _n f _n
SECTION 9	51515 52525 59595	} Code groups to be developed regionally	
SECTION 10	61616 62626 69696	} Code groups to be developed nationally	

NOTES:

- (1) TEMP is the name of the code form for an upper-level report, i.e. upper-level pressure, temperature, humidity and wind, from a land station. A TEMP report is identified by M_iM_i = TT. The name TEMP shall not be included in the report.

UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION

FM 35.E
(continued)

(2) The code form is divided into a number of sections:

Section number	Indicator figures or symbolic figure groups	Contents	
1	—	Identification and position data	
2	—	Data for standard isobaric surfaces	
3	88	Data for tropopause level(s)	
4	66 or 77	Data for maximum wind level(s) and data for vertical wind shear	
5	—	Data for significant levels, with respect to temperature and/or relative humidity	
6	21212	Data for significant levels, with respect to wind	
7	31313	(Reserved)	
8	41414	Cloud data	
9	51515 52525 59595	Regional codes	
10	61616 62626 69696		National codes

(3) Parts of TEMP

(i) The code form is divided into four parts, i.e. Parts A, B, C and D. Each of these parts is identified by M_jM_j as follows:

Part	Identifier letters (M_jM_j)
A	AA
B	BB
C	CC
D	DD

(ii) Each of the four parts of TEMP shall be coded as a separate report in the format specified in the symbolic form.

(4) Part A

(i) TEMP reports exchanged hemispherically shall always include Part A.

(ii) Part A shall contain data, in so far as available, *only* for levels up to and including the 100 mb level as follows:

(a) Identification and position data (Section 1);

(b) Surface data;

(c) Data for the standard isobaric surfaces of 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 and 100 mb (Section 2);

(d) Data for the level(s) of the tropopause(s) (Section 3);

(e) Data for the level(s) of maximum wind speed (Section 4).

(iii) Data for vertical wind shear are included in Section 4 on an optional basis.

(5) Part B

(i) Part B shall contain data, in so far as available, *only* for levels up to and including the 100 mb level as follows:

(a) Identification and position data (Section 1);

(continued)

FM 35.E
(continued)

UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION

- (b) Surface data;
 - (c) Data for significant levels, with respect to temperature and/or relative humidity (Section 5);
 - (d) Data for significant levels, with respect to wind (Section 6);
 - (e) Cloud data observed at the moment of release of the balloon (Section 8);
 - (f) Data determined by regional agreement and regionally developed code forms (Section 9);
 - (g) Data determined by national decision (Section 10).
- (6) Part C
- (i) TEMP reports exchanged hemispherically shall always include Part C.
 - (ii) Part C shall contain data, in so far as available, *only* for levels above the 100 mb level as follows:
 - (a) Identification and position data (Section 1);
 - (b) Data for the standard isobaric surfaces of 70, 50, 30, 20 and 10 mb (Section 2);
 - (c) Data for the level(s) of the tropopause(s) (Section 3);
 - (d) Data for the level(s) of maximum wind speed (Section 4).
 - (iii) Data for vertical wind shear are included in Section 4 on an optional basis.
- (7) Part D
- (i) Part D shall contain data, in so far as available, *only* for levels above the 100 mb level as follows:
 - (a) Identification and position data (Section 1);
 - (b) Data for significant levels, with respect to temperature and/or relative humidity (Section 5);
 - (c) Data for significant levels, with respect to wind (Section 6);
 - (d) Data determined by regional agreement and regionally developed code forms (Section 9);
 - (e) Data determined by national decision (Section 10).
- (8) The isobaric surfaces are sometimes referred to as "mandatory levels". The levels determined with respect to specified criteria for changes in air temperature and/or relative humidity are sometimes referred to as "significant levels". The levels determined with respect to specified criteria for changes in wind speed and direction are also sometimes referred to as "significant levels".
- (9) When the geopotential of a standard isobaric surface is lower than the altitude of the reporting station, the air temperature-humidity group for that surface shall be included in the report. Solidi (/////) shall be reported for these groups, i.e. in Section 2 of Part A. The wind groups for these levels shall be included in the report as specified by the value reported for symbol I_d.
- (10) Whenever it is desired to extrapolate a sounding for the computation of the geopotential at a standard isobaric surface, the following rules shall apply:
- (i) Extrapolation is permissible if, and only if, the pressure difference between the minimum pressure of the sounding and the isobaric surface for which the extrapolated value is being computed does not exceed $\frac{1}{4}$ of the pressure to which extrapolated value is desired, provided the extrapolation does not extend through a pressure interval exceeding 25 mb;
 - (ii) For the purpose of geopotential calculation, and for this purpose only, the sounding will be extrapolated, using two points only of the sounding curve on a T-log

UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION

FM 35.E

(continued)

p diagram, namely that at the minimum pressure reached by the sounding and that at the pressure given by the sum of this minimum pressure and the pressure difference, mentioned in (i) above.

- (11) When a "significant level" (with respect to air temperature and/or relative humidity) and a standard isobaric surface coincide, data for that level shall be reported in both forms in Parts A and B (or C and D, as appropriate).
- (12) If, in the determination of "significant levels" with respect to air temperature and/or relative humidity, the criteria for either parameter are satisfied at a particular point in altitude, data for both parameters shall be reported for that level.
- (13) The "significant levels" with respect to air temperature and relative humidity, included in Parts B and D, shall be in sufficient number to provide for the reconstruction of the sounding in such detail as might be required to meet local forecast requirements.
- (14) The criteria for determining "significant levels" for international exchange are based on the premise that the "significant" data *alone* shall make it possible to reconstruct the air temperature and relative humidity curves within the limits of the criteria specified. "Significant levels" are selected as follows:
- (i) Surface level and highest level of sounding;
 - (ii) Bases and tops of inversions and isothermal layers which are at least 20 mb thick or are characterized by a substantial change in relative humidity provided that the base of the layer occurs below the 300 mb level or below the first tropopause, whichever is higher;
 - (iii) Levels which are necessary to ensure that the temperature obtained by linear interpolation (on a T-log p or essentially similar diagram) between adjacent significant levels shall not depart from the observed temperature by more than 1°C below the 300 mb level or the first tropopause, whichever is reached first, and by more than 2°C above this level;
 - (iv) Levels which are necessary to ensure that relative humidity obtained by linear interpolation between adjacent significant levels shall not depart by more than 15 per cent from the observed value. (The criterion of 15 per cent refers to an amount of relative humidity and NOT to a percentage of the observed value; e.g., if the observed value is 50 per cent, the interpolated value would lie between 35 per cent and 65 per cent.)
- (15) "Significant levels" determined according to the criteria given in Notes (14) (iii) and (iv) shall, in so far as possible, be the actual levels at which the prominent changes in the lapse rates of air temperature or relative humidity occur.
- (16) The code figure 00 for symbol n_0n_0 refers to surface data only and it shall never be used to indicate any other level. In Part B, the successive "significant" levels are numbered 00 (surface), the first level 11, the second level 22, ... etc. ... 99, 11, 22, ... etc. In Part D, the first level above 100 mb is numbered 11, the second 22, ... etc. ... 99, 11, 22, ... etc.
- (17) In Parts B and D, a layer for which data are missing shall be indicated by reporting the boundary levels of the layer and a level of solidi (////) to indicate the layer of missing data. The boundary levels are the levels closest to the bottom and top of the layer for which observed data are available. The boundary levels are not required to meet "significant" level criteria. The boundary levels and the missing data level groups will be identified by appropriate nn numbers. For example:

33P ₃ P ₃ P ₃	T ₃ T ₃ T _{a3} D ₃ D ₃
44///	////
55P ₅ P ₅ P ₅	T ₅ T ₅ T _{a5} D ₅ D ₅

(continued)

FM 35.E **UPPER-LEVEL REPORT FROM LAND STATION**
(continued)

- where the levels 33 and 55 are the boundary levels and 44 indicates the layer for which data are missing.
- (18) Only wind data obtained, either by visual or electronic means, from the radiosonde ascent shall be included in the TEMP report. Wind data obtained by means other than a radiosonde-type ascent shall not be included in a TEMP report.
- (19) When during an ascent the pressure can no longer be obtained but wind can be obtained, the wind data so obtained may be reported in PILOT but shall not be reported in TEMP.
- (20) The term "surface" refers to a horizontal plane whose height above mean sea-level is the same as the floor of the instrument shelter. All data referred to as "surface data" are observed with reference to this plane.
- (21) Criteria for determining maximum wind levels and significant levels with respect to wind are given in Notes (10) and (13) under PILOT FM 32.E, respectively. _____
- (22) In Section 3, the indicator figures 88 are used to indicate that the data for the tropopause level follow.
- (23) When more than one tropopause is observed, they are reported by repeating the tropopause section. When the tropopause data are not observed, the group 88999 shall be reported instead of the tropopause section.
- (24) In Section 4, the indicator figures 77 are used when data for the maximum wind level occurring within the sounding are reported. The indicator figures 66 are used when data for the top of the sounding, where the wind speed is the highest observed throughout the sounding, are reported.
- (25) When more than one maximum wind level is observed, they may be reported by repeating the maximum wind section. When a maximum wind level is not observed or reported, the group 77999 is reported instead of the maximum wind section.
- (26) When wind data are available for all levels, the wind group shall always be included in the report for each level as indicated in the symbolic form. If wind data are not available for all levels, the procedures given below shall be followed:
- (i) See Note (9) above;
 - (ii) When wind data are missing for one or more standard isobaric surfaces but are available for other standard isobaric surfaces below and above, the wind group(s), i.e. dndnf_nfn, shall be coded by means of solidi (/////);
 - (iii) When wind data are missing for a standard isobaric surface and are also missing for all succeeding standard isobaric surfaces to the termination of the ascent, the wind group shall be omitted for all these levels and the symbol I_d reported accordingly.
- (27) The five-figure character of the groups shall be maintained. When data are missing, the appropriate number of solidi shall be coded to indicate that datum for a particular parameter is missing.
- (28) The instructions regarding Parts A and B of the report with respect to the inclusion of "data up to and including 100 mb", and regarding Parts C and D with respect to the inclusion of "data above 100 mb" must *not* be contravened. For example, if data at or below 100 mb are not included in either Part A or B, as appropriate, they must *not* be included in Part C or D. In this instance the non-included data shall be transmitted separately in the form of a correction message.

FM 75.D AEROLOGICAL MEANS FROM LAND STATION

FM 75.D CLIMAT TEMP — Report of monthly aerological means from land station

CLIMAT TEMP	IIiii	<u>gP₀P₀P₀T₀</u>	<u>T₀T₀D₀D₀D₀</u>	
		<u>H₁H₁H₁H₁nT₁</u>	<u>nT₁T₁T₁T₁D₁</u>	<u>D₁D₁n_{v1}r_{f1}r_{f1}</u>
		<u>dv₁dv₁dv₁f_{v1}f_{v1}</u>		
		<u>H₂H₂H₂H₂nT₂</u>	<u>nT₂T₂T₂T₂D₂</u>	<u>D₂D₂n_{v2}r_{f2}r_{f2}</u>
		<u>dv₂dv₂dv₂f_{v2}f_{v2}</u>		
	
			
		<u>H_nH_nH_nH_nnT_n</u>	<u>nT_nT_nT_nT_nD_n</u>	<u>D_nD_nn_{v_n}r_{f_n}r_{f_n}</u>
		<u>dv_ndv_ndv_nf_{v_n}f_{v_n}</u>		

NOTES:

- (1) The code name CLIMAT TEMP prefixed to a message indicates that it is a report or collection of reports of monthly aerological mean values from a land station. In a group of such reports, the code name is used only in the heading of the collective.
- (2) The code name CLIMAT TEMP shall be included either as a prefix to each report transmitted separately or in the heading of the collective, in the case of such reports.
- (3) The broadcast of monthly mean values of the upper-air element shall include information for station level and for the isobaric surfaces of 850, 700, 500, 300, 200, 150, 100, 50 and 30 mb, if available.
- (4) The mean values of surface pressure, surface temperature and surface dew-point depression shall be the monthly mean values at the time of release of the radiosonde.
- (5) The mean vector wind group shall be included in the message for all the isobaric surfaces reported in the message. Solidi (////) shall be reported for this group, if the monthly mean vector wind is not computed for a reported isobaric surface.
- (6) The monthly mean data shall be coded in the code form which is in force during the month to which the data refer.

AEROLOGICAL MEANS FROM OCEAN STATION

FM 76.D

FM 76.D CLIMAT TEMP SHIP — Report of monthly aerological means from ocean weather station

CLIMAT TEMP SHIP

99LaLaLa	QcLoLoLoLo	$\overline{gP_oP_oP_oT_o}$	$\overline{T_oT_oD_oD_oD_o}$	
		$\overline{H_1H_1H_1H_1nT_1}$	$\overline{nT_1T_1T_1T_1D_1}$	$\overline{D_1D_1n_v1r1r1r1}$
		$\overline{d_{v1}d_{v1}d_{v1}f_{v1}f_{v1}}$		
		$\overline{H_2H_2H_2H_2nT_2}$	$\overline{nT_2T_2T_2T_2D_2}$	$\overline{D_2D_2n_v2r2r2r2}$
		$\overline{d_{v2}d_{v2}d_{v2}f_{v2}f_{v2}}$		
	
			
		$\overline{H_nH_nH_nH_nnT_n}$	$\overline{nT_nT_nT_nT_nD_n}$	$\overline{D_nD_nn_vnfnfnfn}$
		$\overline{d_{vn}d_{vn}d_{vn}f_{vn}f_{vn}}$		-----

NOTES:

- (1) The code name CLIMAT TEMP SHIP prefixed to a message indicates that it is a report or collection of reports of monthly aerological mean values from an ocean weather station. In a group of such reports, the code name is used only in the heading of the collective.
- (2) The code name CLIMAT TEMP SHIP shall be included either as a prefix to each report transmitted separately or in the heading of the collective, in the case of such reports.
- (3) See Notes (3), (4), (5) and (6) under CLIMAT TEMP FM 75.D.

Signifikante windpunten en Tropopauze

A. Signifikante windpunten

Om codetechnische redenen kan slechts een gedeelte van de beschikbare windinformatie worden verspreid. Daarom worden alleen markante windpunten gecodeerd.

De criteria voor het bepalen van de markante punten zijn gebaseerd op de eis, dat men de windhodograaf voldoende nauwkeurig kan reconstrueren.

De vereiste nauwkeurigheid volgens WMO-voorschriften moet dusdanig zijn dat:

- de richtings- en snelheidscurven als functie van de hoogte of logaritmie van de druk gereproduceerd kunnen worden met de meest opvallende kenmerken;
- deze curven kunnen worden gereproduceerd met een nauwkeurigheid van 10^0 in de richting en 5 m/s in de snelheid;
- het aantal markante windpunten tot een minimum beperkt blijft.

Om aan deze eisen te voldoen, beveelt de WMO een methode aan van successieve approximatie:

- I Het grondpunt en het hoogste niveau vormen het eerste en laatste markante punt.
- II Vervolgens beschouwt men de deviaties van de parameters t.o.v. geïnterpoleerde waarden tussen deze niveaus. Als de richtingsdeviatie meer dan 10^0 bedraagt en/of de snelheidsdeviatie meer dan 5 m/s, wordt het niveau van de grootste deviatie als markant punt toegevoegd. Indien mogelijk moet het niveau van de grootste deviatie altijd genomen worden in de extremen, d.w.z. in de punten waar het teken van de verticale gradiënt van de parameter omkeert.
- III De toegevoegde markante punten verdelen de hodograaf in een aantal lagen. In elke laag wordt het proces II herhaald. Hieruit resulteren nieuwe markante punten en een nieuwe onderverdeling van de hodograaf. Het proces wordt opnieuw herhaald tot de betreffende deviaties boven de gestelde toleranties komen.

Dit schema is gemakkelijk programmeerbaar. Een bezwaar is, dat het aantal markante punten te groot kan worden. Dit kan worden veroorzaakt door een te grote frekwentie-inhoud van de hodograaf. Een hoge frekwentie-inhoud is weer een gevolg van een grote windvariabiliteit. Deze kan reëel zijn maar de kans is groter, vooral bij automatisch volgende radar, dat er na vereffening en gladstrijken nog veel "thermische" ruis in het windprofiel voorkomt.

Terwille van de codering is het dan noodzakelijk het algoritme enigszins te wijzigen, zodat het aantal markante punten beperkt blijft. Bij overschrijding van dit aantal dient een naselectie te worden uitgevoerd. Het definitieve schema ziet er als volgt uit:

1e stap - Bepaal de extremen in de snelheidscurve.

2e stap - Voer het in II beschreven proces uit voor de extremen in de snelheidscurve. Laat men ten hoogste a markante punten toe inclusief het grondpunt en het hoogste niveau, dan worden

$$a^1 = 1 + 2 + 3 + \dots + a-2 = \frac{(a-1)(a-2)}{2}$$

segmenten van de snelheidscurve doorlopen.

De tolerantie voor de snelheidsdeviatie is 5 m/s.

3e stap - Bepaal de extremen in de richtingscurve.

4e stap - Voer het in II beschreven proces uit voor de extremen in de richtingscurve. De deviatie van de richting moet groter dan 10° bedragen. Laat men ten hoogste b extra markante punten toe, dan worden

$$b^1 = 1 + 2 + 3 + \dots + b = \frac{b(b+1)}{2}$$

segmenten van de richtingscurve doorlopen.

Het totale aantal markante punten bedraagt nu ten hoogste $a+b$.

5e stap - Om dit aantal zo nodig te beperken tot ten hoogste c punten, wordt proces II opnieuw in werking gesteld, maar nu in de hodograaf zelf, op basis van vektordeviaties in de aanwezige $(a+b)$ markante punten. Een markant punt wordt als zodanig gehandhaafd, indien de snelheid van de verschilvektor groter is dan 5 m/s.

Het aantal segmenten dat nu doorlopen wordt, is

$$c^1 = 1 + 2 + 3 + \dots + c-2 = \frac{(c-1)(c-2)}{2}$$

In het ontwerp is

a	=	8
a ¹	=	21
b	=	5
b ¹	=	15
c	=	12
c ¹	=	55

Opmerking: In de code worden ook de randpunten bij hiaten van de windhodograaf als markante punten toegevoegd. Bovendien wordt het 100 mbar-niveau als markant punt gecodeerd voor aansluiting van part D aan part B in het codebericht.

B. Tropopauze

De definitie van tropopauze en aanwijzingen om de tropopauze-niveaus in de toestandskromme te bepalen, ontbreken in de verklarende tekst van de TEMP-code. De definitie is vastgelegd in Resolutie Nr. 42 van de 4e zitting van het Uitvoerend Comité van de WMO. Deze werd van kracht op 1 januari 1955. De definitie staat vermeld in de "International Meteorological Vocabulary", WMO Publikatie Nr. 182, TP.91.

Op basis van deze definitie kan men in de toestandskromme gemakkelijk de karakteristieke punten bepalen waarin aan de gestelde voorwaarde wordt voldaan. Maar om te voorkomen dat discontinuïteiten in de troposfeer worden aangemerkt als tropopauze-niveaus, moet men bepaalde restricties invoeren.

In het ontwerp zijn de volgende richtlijnen aangehouden:

1. De "eerste tropopauze" is de onderkant van de laag van 2 km waarin het gemiddelde verticale temperatuurverval tussen de onderkant van de laag en elk ander punt in de laag kleiner is dan of gelijk aan $2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Onder het gemiddelde temperatuurverval wordt verstaan het verschil in temperatuur tussen de onder- en bovenkant van de laag, gedeeld door de hoogte van de laag.

Men onderzoekt in de karakteristieke punten of

$$\frac{T_k - T_i}{H_k - H_i} \leq -0.002 \quad \text{met } k = i+1, i+2 \dots, H_k - H_i \leq 2000$$

en tenslotte

$$\frac{T(H_i + 2000) - T_i}{2000} \leq -0.002$$

2. Wanneer boven de eerste tropopauze een laag van 1 km dikte aanwezig is waarin het gemiddelde temperatuurverval tussen de onderkant van de laag en elk ander punt in de laag groter is dan $3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$, dan is een tweede tropopauze aanwezig, indien in of boven de laag van 1 km een tweede niveau gevonden kan worden, dat voldoet aan de voorwaarde genoemd onder 1.

Nadat de eerste tropopauze gevonden is, wordt onderzocht of

$$\frac{T_k - T_j}{H_k - H_j} \geq -0.003 \quad \text{met } k = j+1, j+2 \dots, H_k - H_j \leq 1000$$

tot tenslotte

$$\frac{T(H_j + 1000) - T_j}{1000} \geq -0.003$$

Daarna als in 1.

Een derde tropopauze wordt gemeld wanneer boven de tweede tropopauze nog een niveau gevonden kan worden, dat voldoet aan de voorwaarde genoemd onder 1 en 2. De onderkant van bovengenoemde laag van 1 km kan aanwezig zijn op elke hoogte boven de eerste tropopauze.

3. a) Indien beneden het 500 mbar-vlak een laag van 2 km aanwezig is, die voldoet aan de voorwaarde genoemd onder 1, mag de onderkant niet als een tropopauze worden opgevat, tenzij er op grotere hoogte tot 200 mbar geen enkel niveau voldoet aan de voorwaarde genoemd onder 1.
 - b) Blijft de top van de waarneming beneden het 200 mbar-vlak, dan wordt bij de onder a) genoemde omstandigheden aangenomen dat geen tropopauze wordt bereikt.
4. Wanneer een niveau minder dan 2 km beneden het eindpunt van de waarneming zou voldoen aan de definitie van tropopauze, indien de toestandskromme tot 1 km boven het eindpunt zou worden geëxtrapolleerd, dan wordt dit niveau ook als een tropopauze opgevat.

Gegevensbestand

Het gegevensbestand dat bewaard wordt in de archief-tapes bestaat uit 2127 elementen per waarneming.

De gegevens zijn verdeeld over een aantal groepen en subgroepen. In onderstaand overzicht staan deze vermeld met tussen haakjes het aantal gereserveerde plaatsen. Daarna volgt een specificatie van de elementen in het bestand.

Inhoud gegevensbestand

I	<u>Indicatieve gegevens</u>		
	eerste subgroep		(15)
	tweede subgroep		(15)
II	<u>Basisgegevens radiosonde</u>		
	tijden	karakteristieke niveaus	(36)
	luchtdruk	" "	(36)
	temperatuur	" "	(36)
	rel. vochtigheid	" "	(36)
III	<u>Primaire radiosondegegevens</u>		
	geopotentiaal	karakteristieke niveaus	(36)
	dauwpunt	" "	(36)
	tijden	standaardniveaus	(28)
	druk	"	(28)
	temperatuur	"	(28)
	rel. vochtigheid	"	(28)
	geopotentiaal	"	(28)
	dauwpunt	"	(28)
	druk	tropopauzeniveau(s)	(3)
	temperatuur	"	(3)
	rel. vochtigheid	"	(3)
	geopotentiaal	"	(3)
	dauwpunt	"	(3)
	druk	0-graden niveau(s)	(3)
	geopotentiaal	"	(3)
	rel. vochtigheid	"	(3)
IV	<u>Basisgegevens radarwaarneming</u>		
	minuut-tijden		(131)
	azimuth		(131)
	range		(131)
	elevatie		(131)

V Primaire radargegevens

hoogte	voor elke minuut	(131)
windsnelheid	" " "	(131)
windrichting	" " "	(131)
hoogte	max. wind niveau(s)	(3)
windrichting	" " "	(3)
windsnelheid	" " "	(3)
hoogte	regionale niveaus	(5)
windrichting	" " "	(5)
windsnelheid	" " "	(5)
hoogte	geapproximeerde standaardniveaus	(14)
windrichting	" " "	(14)
windsnelheid	" " "	(14)
indicator	significante windpunten	(131)

VI Secundaire radiosonde/radargegevens

windrichting	karacteristieke niveaus	(36)
windsnelheid	" "	(36)
windrichting	standaardniveaus	(28)
windsnelheid	" "	(28)
windrichting	tropopauzeniveau(s)	(3)
windsnelheid	" "	(3)
windrichting	0-graden niveau(s)	(3)
windsnelheid	" "	(3)

VII Secundaire radar/radiosondegegevens

luchtdruk	minuutwaarneming	(131)
temperatuur	" "	(131)
rel. vochtigheid	" "	(131)
druk	max. wind niveau(s)	(3)
temperatuur	" " "	(3)
rel. vochtigheid	" " "	(3)
luchtdruk	significante windpunten	(28)

VIII Wolkengroep

NC _L hC _M C _H	(5)
--	-----

SpecificatieI Indicatieve gegevens

Deze groep bestaat uit 30 elementen, verdeeld over twee subgroepen.

Eerste subgroep

0000 stationsindex.
 0001 datum voor standaardtijd-waarneming; dag, maand, jaar.
 0002 nummer waarneming in maandelijks bestand.
 0003 datum waarnemingstijd; dag, maand, jaar.
 0004 tijd van waarneming; uren, minuten.
 0005 Qc aardkwadrant.
 0006 MMM nummer Marsden 10 graads-vierkantsvak.
 0007 sleutelgetal methodiek.
 0008 gecodeerd sluitgetal.
 0009 lokatie radar.
 0010 index laatste minuutwaarneming radar.
 0011 index laatste karakteristieke niveau.
 0012 index laatste standaardniveau.
 0013 gereserveerd voor sleutelgetal van voorgaand bericht (bijv. bij split ascent).
 0014 gereserveerd voor sluitgetal van voorgaand bericht (bijv. bij split ascent).

Tweede subgroep

0015 LoLoLo lengte in 0.1 graad.
 0016 LaLaLa breedte in 0.1 graad.
 0017 gronddruk in 0.1 mbar.
 0018 gronddruk in 0.1 °K.
 0019 rel. vochtigheid aan de grond in %.
 0020 dauwpunt in 0.1 °K.
 0021 richting grondwind in graden.
 0022 snelheid grondwind in knopen.
 0023 luchtdruk op 900 m in 0.1 mbar.
 0024 windrichting op 900 m in 0.1 graad.
 0025 windsnelheid op 900 m in 0.1 knopen.
 0026-0029 gereserveerd.

II Basisgegevens radiosonde

Deze groep bestaat uit 144 elementen, verdeeld over vier grootheden. Maximaal zijn 35 karakteristieke niveaus toegestaan, exclusief het grondpunt. Het eerste element van elke grootheid bevat de waarde in het grondpunt.

0030-0065 gemeten tijden karakteristieke niveaus in 0.1 minuten.
Opm.: het laatste element bevat het gecodeerde sluitgetal.
 0066-0101 gemeten druk in karakteristieke niveaus in 0.1 mbar.
Opm.: bij rasonneren worden hierin de berekende drukwaarden opgeslagen in 0.1 mbar.
 0102-0137 gemeten temperatuur in karakteristieke niveaus in 0.1 °K.
 0138-0173 gemeten rel. vochtigheid in karakteristieke niveaus in %.
Opm.: voor een ontbrekend gegeven wordt 0 gesubstitueerd.

III Primaire radiosondegegevens

Deze groep bevat 264 elementen, verdeeld over 16 grootheden.

- 0174-0209 berekende geopotentialen voor karakteristieke niveaus in 0.1 gpm.
Opm.: het eerste element bevat de hoogte van het station boven zeeniveau, De Bilt 5 m.
- 0210-0245 berekende dauwpunten in karakteristieke niveaus in 0.1 °K.
- 0246-0273 berekende tijden standaardniveaus in 0.1 min.
Opm.: het eerste element wordt -111 indien de gronddruk lager is dan 1000 mbar.
- 0274-0301 drukken standaardniveaus, gespecificeerd:
- | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1000 | 900 | 850 | 800 | 700 | 600 | 500 | 400 |
| 300 | 250 | 200 | 175 | 150 | 125 | 100 | 80 |
| 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 15 | 10 |
| 7 | 5 | 4 | 3 | | | | |
- 0302-0329 temperatuur in standaardniveaus in 0.1 °K.
- 0330-0357 rel. vochtigheid in standaardniveaus in 0.1 %.
- 0358-0385 geopotentiaal in standaardniveaus in 0.1 gpm.
Opm.: de laatste waarde kan een geëxtrapoleerde waarde zijn. Hierbij worden geen temperatuur, rel. vochtigheid en dauwpunt gegeven.
- 0386-0413 dauwpunt in standaardniveaus in 0.1 °K.
- 0414-0416 druk tropopauzeniveau(s) in 0.1 mbar.
- 0417-0419 temperatuur tropopauze in 0.1 °K.
- 0420-0422 rel. vochttheid tropopauze in %.
- 0423-0425 geopotentiaal tropopauze in 0.1 gpm.
- 0426-0428 dauwpunt tropopauze in 0.1 °K.
- 0429-0431 druk 0-graden niveau(s) in 0.1 mbar.
- 0432-0434 geopotentiaal in 0-graden niveau in 0.1 gpm.
- 0435-0437 rel. vochtigheid in 0-graden niveau in 0.1 %.

IV Basisgegevens radarwaarneming

Deze groep bevat 524 elementen, verdeeld over 4 grootheden. Het eerste element van elke grootheid is een vaste waarde, bepaald door de lokatie van de radar.

- 0438-0568 tijd, in minuten. Het eerste element is 0 (grondpunt). Het laatste element bevat het gecodeerde sluitgetal.
- 0569-0699 azimuthwaarden in 0.1 graad.
Opm.: het eerste element is voor
 radar op toren : 205.0
 radar op dak : 208.0
 weerschip : 0.1
- 0700-0830 range in m.
- 0831-0961 elevatie in 0.1 graad. Eerste element is 0.1.

V Primaire radargegevens

Deze groep bevat 590 elementen, verdeeld over 13 parameters.

- 0962-1092 hoogte (geopotential) voor elke minuut in 0.1 gpm.
Opm.: het eerste element bevat de hoogte van de radar
 boven zeeniveau,
 radar op toren : 40 gpm
 radar op dak : 26 gpm
 weerschip : 16 gpm
- 1093-1223 windsnelheid elke minuut in 0.1 knopen. Het eerste
 element bevat de snelheid van de grondwind in knopen.
- 1224-1354 windrichting elke minuut in graden. Het eerste element
 is de windrichting aan de grond.
- 1355-1357 hoogte maximumwind niveau(s) in gpm.
- 1358-1360 windrichting maximumwind niveau in graden.
- 1361-1363 windsnelheid maximumwind niveau in 0.1 knopen.
- 1364-1368 hoogte regionale en twee hulpniveaus,
 regionaal : 900, 2100 en 4200.
 hulpniveaus (omstreeks 100 mbar): 15900 en 16200.
- 1369-1373 windrichting in regionale en hulpniveaus in 0.1 graad.
- 1374-1378 windsnelheid in " " " " 0.1 knopen.
- 1379-1392 geopotential geapproximeerde standaardniveaus,
 gespecificeerd:
- | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1500 | 3000 | 5400 | 7200 | 9000 | 10500 |
| 12000 | 13500 | 15900 | 18300 | 20700 | 23700 |
| 26400 | 30900 | | | | |
- 1393-1406 windrichting in geapprox. standaardniveaus in 0.1 graad.
- 1407-1420 windsnelheid in " " " " 0.1 knopen.
- 1421-1551 indicator voor aanwezigheid van significant windpunt
 voor de n-de minuut,
 0 = geen significant windpunt
 1 = regulier significant windpunt
 2 = randpunt bij hiaat in waarneming
- Opm.: het grondpunt en het laatste minuatpunt zijn altijd
 significant.

VI Secundaire radiosonde/radargegevens

Deze groep bestaat uit 140 elementen - windgegevens - voor allerlei
 markante niveaus.

- 1552-1587 windrichting karakteristieke niveaus in graden.
 Het eerste element windrichting van grondwind.
- 1588-1623 windrichting in karakteristieke niveaus in 0.1 knopen.
 Het eerste element is windsnelheid van de grondwind.
- 1624-1651 windrichting in standaardniveaus in graden.
- 1652-1679 windsnelheid in " " in 0.1 knopen.
- 1680-1682 windrichting in tropopauzeniveau(s) in graden.
- 1683-1685 windsnelheid in " " in 0.1 knopen.
- 1686-1688 windrichting in 0-graden niveau(s) in 0.1 graad.
- 1689-1691 windsnelheid in " " in 0.1 knopen.

VII Secundaire radar/radiosondegegevens

Deze groep bestaat uit 530 elementen, verdeeld over 7 parameters.

- 1692-1822 drukken voor minuutwaarden in 0.1 mbar.
Het eerste element bevat de gronddruk in 0.1 mbar.
- 1823-1953 temperatuur voor minuutwaarden in 0.1 °K.
Het eerste element bevat de temperatuur aan de grond in 0.1 °K.
- 1954-2084 rel. vochtigheid voor minuutwaarden in 0.1 °K.
Het eerste element bevat de rel. vochtigheid aan de grond in %.
- 2085-2087 druk in maximumwind niveau(s) in 0.1 mbar.
- 2088-2090 temperatuur in maximumwind niveau(s) in 0.1 °K.
- 2091-2093 rel. vochtigheid in maximumwind niveau in 0.1 %.
- 2094-2121 druk in significante windpunten in 0.1 mbar.

VIII Wolkengroep

- 2122-2126 interne waarden van de telexsymbolen van de wolken-
groep $NC_L hC_M C_H$.

Belangrijk : Ontbreekt een berekende of gemeten waarde, dan bevat het element de "dummy waarde" -111.

Alle 2127 elementen van een waarneming in de archief tapes zijn geschaald met de faktor 10.

Input van radiosonde/radar meetwaarden met foutenherkenning en beslissing, genomen door waarnemer/operateur.

+080173
+1200
+1036.5 +5.2 +87 +330 +03
+2
+4
855//

+3.9 -3.0 +100
+4.7 +4.4 +56
+5.7 +3.6 +52
+7.5 +0.2 +54

+9.2 -4.2 +55
+10.0 -4.5 +52
+13.2 -11.6 +51
+14.0 -12.6 +49
+26.6 -41.3 +48

+31.8 -56.6 +48
+36.0 -63.0 +47
+37.9 -64.9 +46
+39.0 -61.9 +48
+56.0 -61.1 +0

-122431

+1 +0 +0 +0
+2 +207.0 +1030 +35.4
+3 +209.8 +1540 +36.1
+4 +211.0 +2080 +35.2
+5 +212.7 +2840 +31.4
+6 +212.9 +3640 +29.3
+7 +212.5 +4330 +28.9
+8 +211.2 +5260 +27.3
+9 +209.6 +6080 +26.3
+10 +208.8 +6900 +25.5
+11 +208.9 +7530 +25.8
+12 +208.7 +8230 +25.8
+13 +208.5 +9050 +25.7
+14 +208.5 +9780 +25.7
+15 +208.0 +10630 +25.5
+16 +207.0 +11420 +25.3
+17 +206.4 +12340 +25.0
+18 +205.7 +13260 +24.5
+19 +204.7 +14040 +24.6
+20 +203.9 +14860 +24.5

+21 +203.6 +15700 +24.2
+22 +203.2 +16680 +23.9
+23 +202.7 +17700 +23.6
+24 +202.0 +18720 +23.3
+25 +201.6 +19840 +23.0
+26 +201.6 +20900 +22.7
+27 +201.4 +22080 +22.3
+28 +201.0 +23280 +21.9
+29 +200.7 +24290 +21.8
+30 +200.5 +25320 +21.7

+31	+200.2	+26390	+21.6
+32	+199.6	+27460	+21.5
+33	+199.0	+28660	+21.3
+34	+198.6	+29870	+21.1
+35	+198.4	+31060	+20.9
+36	+198.4	+32140	+20.9
+37	+198.3	+33040	+20.9
+38	+198.1	+34110	+20.8
+39	+197.7	+34830	+21.0
+40	+197.8	+35710	+21.1
+41	+197.4	+36470	+21.2
+42	+197.4	+37020	+21.5
+43	+197.4	+37880	+21.7
+44	+197.4	+38390	+21.9
+45	+197.1	+38810	+22.3
+46	+196.6	+39320	+22.6
+47	+196.1	+40010	+22.8
+48	+195.6	+40600	+23.0
+49	+195.5	+41400	+23.1
+50	+195.5	+41940	+23.4
+51	+195.5	+42290	+23.8
+52	+194.9	+42840	+23.9
+53	+194.3	+43470	+24.2
+54	+193.8	+44190	+24.4
+55	+193.3	+44750	+24.7
+56	+192.7	+45340	+25.0
+57	+191.6	+46020	+25.2
+58	+190.4	+46850	+25.3
+59	+189.3	+47610	+25.5
+60	+188.4	+48620	+25.5
+61	+187.3	+49520	+25.5
+62	+186.0	+50390	+25.6
+63	+184.7	+51310	+25.7
+64	+183.4	+52510	+25.7
+65	+182.1	+53800	+25.7
+66	+180.7	+55200	+25.5
+67	+179.0	+56670	+25.4
+68	+177.2	+58260	+25.1
+69	+175.1	+60000	+24.9
+70	+173.9	+61790	+24.5
+71	+172.2	+63860	+24.1
+72	+170.5	+65870	+23.9
+73	+168.8	+67820	+23.6
+74	+167.4	+70060	+23.3
+75	+165.9	+72270	+23.1
+76	+164.5	+74410	+22.8

-122431

CHECK AZIMUTH VOOR MINUTEN +68 +69

BESLISSING: NOODZAKELIJK

WAARN. GOEDGEKEURD

Voorbeeld aerologische tabellen

=STANDARD PRESSURE LEVELS=

PRESSURE MBAR	GEOPOTENTIAL GPM	TEMPERATURE °C	DEW POINT °C	REL. HUM. O/O	WIND DIRECTION DEGR.	WIND SPEED KT.
1000	297	+3.2	+1.7	90	-	-
900	1143	-2.6	-2.7	99	35	15
850	1604	+3.9	-4.7	54	36	24
800	2095	+1.3	-7.1	53	30	21
700	3155	-5.6	-13.9	52	25	22
600	4346	-13.1	-21.6	49	26	23
500	5709	-22.8	-30.7	49	13	27
400	7309	-34.2	-41.3	48	13	33
300	9260	-49.6	-55.8	48	14	32
250	10428	-58.2	-63.9	48	6	39
200	11814	-63.8	-69.4	47	16	29
175	12633	-61.9	-	-	9	22
150	13587	-61.8	-	-	9	18
125	14716	-61.6	-	-	3	13
100	16099	-61.5	-	-	347	19
80	17483	-61.3	-	-	344	12
70	18312	-61.2	-	-	338	22
60	19269	-61.1	-	-	327	21
50	20402	-	-	-	-	-

=PRESSURE LEVELS=

PRESSURE MBAR	GEOPOTENTIAL GPM	TEMPERATURE °C	DEW POINT °C	REL.HUM. O/O	WIND DIRECTION DEGR.	WIND SPEED KT.
1036	5	+5.2	+3.2	87	330	3
894	1197	-3.0	-3.0	100	34	15
869	1423	+4.4	-3.6	56	36	22
838	1719	+3.6	-5.3	52	35	25
782	2282	+2	-8.0	54	28	25
734	2780	-4.2	-11.9	55	21	26
714	3002	-4.5	-12.9	52	23	26
626	4022	-11.6	-19.7	51	27	24
606	4276	-12.6	-21.1	49	27	22
346	8310	-41.3	-48.1	48	19	36
265	10067	-56.6	-62.4	48	8	34
209	11555	-63.0	-68.5	47	17	34
188	12177	-64.9	-70.5	46	10	34
176	12581	-61.9	-67.4	48	9	21
60	19285	-61.1	-	-	327	21

=TROPOPAUSE=

LEVEL	PRESSURE	HEIGHT	TEMPERATURE	DEW POINT	WIND DIRECTION	WINDSPEED
1	188	12177	-64.9	-70.5	10	34

=WINDMAXIMA=

HEIGHT	PRESSURE	WIND DIRECTION	WINDSPEED
29132	-	307	89
25450	-	306	85

=FREEZING LEVEL=

HEIGHT	PRESSURE	REL. HUM.	WIND DIRECTION	WINDSPEED
GPM	MBAR	O/O	DEGR.	KT.
761	944	95	36	14
1289	884	82	35	17
2305	779	54	27	26

CLOUD GROUP: 855//

MIN	HEIGHT	PRESSURE	TEMP.	REL. HUM.	WIND DIR.	WIND SPEED
1	325	998	+3.1	90	-	-
2	624	961	+1.0	94	-	-
3	935	925	-1.1	97	36	14
4	1227	891	-2.1	95	34	15
5	1508	860	+4.2	55	37	24
6	1810	828	+3.0	52	34	25
7	2122	797	+1.1	53	30	21
8	2443	767	-1.1	54	26	30
9	2725	740	-3.7	55	20	26
10	3002	714	-4.5	52	23	26
11	3310	685	-6.7	52	29	18
12	3615	658	-8.9	51	28	21
13	3959	631	-11.2	51	27	25
14	4276	606	-12.6	49	27	22
15	4612	581	-14.9	49	22	26
16	4917	556	-17.2	49	15	25
17	5253	533	-19.4	49	19	29
18	5539	510	-21.7	49	17	30
19	5886	489	-24.0	49	8	24
20	6205	468	-26.3	49	11	26
21	6480	447	-28.5	48	18	27
22	6804	428	-30.8	48	18	31
23	7134	409	-33.1	48	14	33
24	7455	390	-35.4	48	11	33
25	7805	373	-37.7	48	16	36
26	8121	356	-39.9	48	20	34
27	8437	339	-42.5	48	18	38
28	8745	322	-45.4	48	15	39
29	9085	306	-48.4	48	14	32
30	9430	291	-51.3	48	15	32
31	9786	276	-54.2	48	12	34
32	10138	262	-56.9	48	7	35
33	10489	247	-58.4	48	6	39
34	10836	234	-60.0	47	9	39
35	11167	221	-61.5	47	14	38
36	11556	209	-63.0	47	17	34
37	11881	198	-64.0	46	16	28
38	12211	187	-64.6	46	10	34
39	12582	176	-61.9	48	9	21
40	12959	166	-61.9	-	9	27

*

*

*

*

41	13294	155	-61.8	-	11	23
42	13675	146	-61.8	-	6	15
43	14116	137	-61.7	-	20	25
44	14430	128	-61.7	-	12	14
45	14838	120	-61.6	-	346	11
46	15223	113	-61.6	-	339	16
47	15619	106	-61.5	-	345	23
48	15979	99	-61.5	-	347	18
49	16361	93	-61.4	-	6	24
50	16776	88	-61.4	-	21	14
51	17185	82	-61.3	-	349	7
52	17477	77	-61.3	-	342	19
53	17941	72	-61.2	-	332	22
54	18378	68	-61.2	-	343	23
55	18823	64	-61.1	-	334	18
56	19286	60	-61.1	-	327	21
57	19720	-	-	-	317	32
58	20150	-	-	-	320	38
59	20627	-	-	-	317	34
60	21065	-	-	-	332	38
61	21456	-	-	-	321	39
62	21913	-	-	-	313	42
63	22394	-	-	-	312	43
64	22919	-	-	-	319	50
65	23484	-	-	-	320	53
66	23925	-	-	-	320	60
67	24475	-	-	-	312	67
68	24892	-	-	-	312	75
69	25450	-	-	-	306	85
70	25825	-	-	-	322	71
71	26292	-	-	-	314	89
72	26916	-	-	-	309	86
73	27396	-	-	-	306	88
74	27974	-	-	-	313	89
75	28633	-	-	-	308	90
76	29132	-	-	-	307	89

* geeft een markant windpunt aan

Voorbeeld TEMP-, PILOT- en CLIMAT-code en codeDagelijks Weerberichtopmerking

Het betreft hierbij een waarneming waarbij de radiosonde meting beëindigd is voordat het springpunt bereikt werd. De radarpeiling was beschikbaar tot het springpunt. Bij dit geval van "meerwind" wordt behalve de TEMP-code nog een aanvullend PILOT bericht vervaardigd, dat gegevens bevat van het (laatste) deel van de radar-meting na het hoogst beschikbare punt van de radiosonde waarneming.

ZCZC 37806

USNL1 EHDB N 081200

TTAA 58121 06260

99037 05220 33003 00297 03215 // // // 85604 03859 03524 70155 05758

02522 50571 22958 01527 40731 34357 01533 30926 497// 01532 25043

583// 00539 20181 639// 01529 15359 619// 01018 10610 615// 34519

88189 649// 01034

77999=

NNNN

ZCZC 37816

UKNL1 EHDB A 081200

TTBB 5812/ 06260

00037 05220 11894 03100 22869 04458 33838 03659 44782 00258 55734

04358 66714 04558 77626 11758 88606 12759 99346 413// 11265 567//

22209 631// 33189 649// 44177 619// 55100 615//

21212 00037 33003 11// // // // 22925 03514 33860 03524 44767 02530

55323 01539 66113 34016 77100 34519

41414 855//

51515 11928 03514 22800 03021 33600 02523=

NNNN

ZCZC 37826

ULNL1 EHDB N 081200

TTCC 58127 06260

70831 613// 34022 50040 // // //

88999

77999=

NNNN

ZCZC 37836
 UENL1 EHDB 081200
 TTDD 5812/ 06260
 11999 615// 22598 611//
 21212 11999 34519 22934 00524 33876 02014 44822 35007 55598 32521=

NNNN
 ZCZC 37876
 UHNL1 EHDB N 081200
 PPCC 58123 06260
 55370 /////
 32034 32056 55120 31588
 62913 30589 72545 30585=

NNNN
 ZCZC 3/87/
 UQNL1 EHDB 081200
 PPDD 58123 06260
 9646/ 32521 31532 9856/ 30585 32071 997// 30589=

NNNN

08-01-1973 TEMP 5812- 06260
 99037 05220 33003 00297 03215 ----- 85604 03859 03524 70155 05758 02522 50571 22958 01527
 40731 34357 01533 30926 497-- 01532 25043 583-- 00539 20181 639-- 01529 15359 619-- 01018
 10610 615-- 34519 70931 613-- 34022 50040 ----- 32036 30--- ----- 32056 20--- ----- 31588
 10--- -----
 88189 649-- 01034 77999 00037 05220 11894 03100 22869 04458 33838 03659 44782 00258
 55734 04358 66714 04558 77626 11758 88606 12759 99346 413-- 11265 567-- 22209 631-- 33189
 649-- 44177 619-- 55598 611-- 21212 00037 33003 11--- ----- 22925 03514 33860 03524 44767
 02530 55323 01539 66113 34016 77934 00524 88876 02014 99822 35007 11598 32521 41414 855--
 51515 11928 03514 22800 03021 33600 02523

ZCZC
 cunl ehdb 081200
 climat temp december 1972
 06260 10200 32013
 14860 00230 84070 22517
 30330 05581 15065 22518
 55860 07341 00063 23420
 91230 0000/ //052 25124
 16960 0093/ //051 26120
 35230 2069/ //065 25720
 60870 2082/ //074 26020
 04230 5112/ //085 26723
 36121 6139/ //289 27332=

nnnn

Voorbeeld Klimatologische Tabellen.

CLIMAT-TEMP (UPPER AIR) DATA

VERIFIED AND AUGMENTED FOR PUBLICATION

IN MONTHLY CLIMATIC DATA FOR THE WORLD

STATION NUMBER: 06260 STATION: DE BILT
 OBSERVATION TIME: 00.00 GMT MONTH: DECEMBER 1972

LL/EL	PRESSURE/ HEIGHT	MBAR/GPM	TEMPERATURE		DEWPOINT DEPRESSION		MISSING DAYS	C	O	MISSING DAYS	DIRECTION DEGRS	SPEED MPS	STEADINESS FACTOR
			M	C	M	C							
SURFACE	1020			+3.2		1.8	0			0	225	9	70
850	1486			+2.3		8.4	0			0	225	9	70
700	3033			-5.8		11.5	0			0	225	9	65
500	5586			-23.4		10.0	0			0	234	10	63
300	9123			-50.0			0			0	251	12	52
200	11696			-59.3			0			0	261	11	51
150	13523			-56.9			2			0	257	11	65
100	16087			-58.2			2			0	260	10	74
050	20423			-61.2			5			0	267	12	85
030	23612			-63.9			16			2	273	16	89
										SCALAR WINDS			
										850	MBAR	13	M/SEC
										700	MBAR	14	M/SEC
										500	MBAR	16	M/SEC
										300	MBAR	23	M/SEC
										200	MBAR	21	M/SEC
										150	MBAR	16	M/SEC
										100	MBAR	14	M/SEC
										050	MBAR	14	M/SEC
										030	MBAR	18	M/SEC

D I E S M O N I T H D E C E M B E R 19/2

H -2

STANDARD PRESSURE	HEIGHTS OF STANDARD-PRESSURE IN GPM.			STANDARD-PRESSURE IN GPM.			T E M P E R A T U R E			RELATIVE HUMIDITY .											
	N	MEAN	DIES	N	MEAN	DIES	N	MEAN	DIES	N	MEAN	DIES									
SURFACE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
1000	31	162	31	171	62	166	321	31	+32	31	+49	62	+40	31	+115	31	89	31	80	62	84
900	31	1023	31	1030	62	1026	1170	31	+44	31	+49	62	+47	31	+114	31	83	31	78	62	80
850	31	1486	31	1493	62	1489	1630	31	+38	31	+35	62	+36	31	+81	31	69	31	68	62	68
800	31	1974	31	1979	62	1977	2124	31	-2	31	-7	62	-4	31	+66	31	58	31	57	62	57
700	31	3033	31	3036	62	3034	3205	31	-58	31	-62	62	-60	31	+6	31	50	31	49	62	49
600	31	4224	31	4226	62	4225	4419	31	-135	31	-137	62	-136	31	-71	31	43	31	47	62	45
500	31	5586	31	5587	62	5586	5809	31	-234	31	-233	62	-233	31	-169	31	45	31	50	62	48
400	31	7181	31	7182	62	7181	7439	31	-352	31	-352	62	-352	31	-285	31	42	30	47	61	45
300	31	9123	31	9126	62	9124	9400	31	-500	31	-500	62	-500	31	-434	31	37	28	41	57	39
200	31	11696	31	11693	62	11694	11950	31	-593	31	-594	62	-594	31	-503	31	29	24	37	47	33
150	29	13523	31	13503	60	13513	13744	29	-569	31	-576	60	-573	31	-698	31	28	18	34	35	31
100	29	16087	29	16058	58	16073	16292	29	-582	29	-584	58	-583	31	-524	31	27	12	33	24	30
070	28	18326	29	18294	57	18309	18521	28	-594	29	-598	57	-596	31	-534	31	23	11	31	17	28
050	26	20423	27	20386	53	20404	20619	26	-612	27	-612	53	-612	31	-552	31	22	7	29	11	27
030	15	23612	21	23559	36	23581	23830	15	-639	21	-632	36	-634	31	-551	31	21	4	28	5	27
020	13	26054	11	26086	24	26069	26363	13	-651	11	-634	24	-643	31	-572	31	-	1	33	1	33
010	8	30361	7	30326	15	30344	30741	8	-644	7	-627	15	-636	31	-579	31	-	-	-	-	-

GEM.GRONDDRUK 00.00 GMT 1020 MBAR. AANTAL 31
 GEM.BEREIKTE MAX.HOOGTE 00.00 GMT 24677 MTRS. AAN AL 31
 GEM.GRONDDRUK 12.00 GMT 1021 MBAR. AANTAL 31
 GEM.BEREIKTE MAX.HOOGTE 12.00 GMT 25377 MTRS. AANTAL 31

DIES WIND MONTH DECEMBER 1972

STANDARD PRESSURE	00.00			12.00			DIES			DAILY MEAN			STEADNS. FACTOR
	N	DDD	FFF	N	DDD	FFF	N	DDD	FFF	N	DDD	FFF	
SURFACE	31	190	6	31	193	6	62	191	6	31	188	5	76
1000	7	207	20	2	189	17	9	204	20	17	184	13	80
900	27	221	20	19	217	21	46	219	20	28	219	18	74
850	28	227	19	24	224	21	52	226	20	31	225	17	70
800	31	224	18	26	217	19	57	221	19	31	222	17	66
700	31	222	18	29	224	19	60	223	18	31	225	18	65
600	31	224	19	30	229	21	61	226	20	31	229	19	66
500	31	228	20	31	238	22	62	233	21	31	234	20	63
400	31	235	21	31	245	22	62	240	22	31	242	21	56
300	31	240	23	30	257	28	61	249	25	31	251	23	52
200	31	261	20	29	252	25	60	256	23	31	261	20	51
150	29	254	18	31	258	20	60	256	19	31	257	20	65
100	27	258	20	30	256	21	57	257	20	31	260	20	74
070	28	261	21	30	262	23	58	262	22	31	264	23	84
050	26	262	22	28	265	23	54	264	22	31	267	23	85
030	15	277	28	20	275	32	35	276	30	29	273	32	89
020	13	278	42	11	275	36	24	277	39	16	278	40	89
010	9	274	66	7	285	56	16	279	61	13	279	63	92

NORMALEN VAN 1951 TOT EN MET 1972 MAAND DECEMBER 1972

頁 -4

HOOGTE (GPM)		1000 MBAR	900 MBAR	850 MBAR	800 MBAR	700 MBAR	600 MBAR	500 MBAR	400 MBAR	300 MBAR
GEM	GROND	110	960	1419	1897	2946	4118	5473	7048	8987
N		527	527	682	527	682	527	681	589	676

200 MBAR		150 MBAR	100 MBAR	070 MBAR	050 MBAR	030 MBAR
GEM	GROND	13374	15925	18150	20242	23423
N		498	515	366	302	150

TEMPERATUUR (0.1°C)		1000 MBAR	900 MBAR	850 MBAR	800 MBAR	700 MBAR	600 MBAR	500 MBAR	400 MBAR	300 MBAR
GEM	GROND	+23	+3	-13	-38	-89	-162	-252	-369	-502
N		527	527	682	527	682	527	681	589	675

200 MBAR		150 MBAR	100 MBAR	070 MBAR	050 MBAR	030 MBAR
GEM	GROND	-577	-595	-594	-626	-639
N		498	511	352	284	142

DAUWPUNT (0.1°C)		1000 MBAR	900 MBAR	850 MBAR	800 MBAR	700 MBAR	600 MBAR	500 MBAR	400 MBAR
GEM	GROND	+8	-39	-71	-112	-185	-272	-355	-451
N		526	526	681	526	680	525	667	440

NORMALEN VAN DE WIND VANAF 1957 TOT EN MET DE MAAND DECEMBER 1972

GROND		850 MBAR	700 MBAR	500 MBAR	300 MBAR	200 MBAR	150 MBAR	100 MBAR	050 MBAR	030 MBAR									
DDD-FF	198 - 3	268	- 9	281	- 12	290	- 18	299	- 26	302	- 28	298	- 25	295	- 23	290	- 28	287	- 31
N		496	483	464	464	454	401	398	394	316	316	394	398	316	316	316	316	316	316