

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 53

K.H. Annema, D. Boersma, W.A.A. Monna en S.H. Muller

Een vergelijkend onderzoek  
van drie commerciële radiosonde systemen

De Bilt, 1984

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 53 (INSA)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Instrumentele Afdeling,  
Postbus 201,  
3730 AE De Bilt,  
Nederland.

## Inhoudsopgave

1. Inleiding	blz. 1
2. Systeembeschrijving	blz. 1
2.1 Het huidige station	blz. 1
2.2 Micro-cora station	blz. 1
2.3 Beukers station	blz. 2
3. Nauwkeurigheidseisen	blz. 2
4. Beschrijving van het experiment	blz. 3
5. Resultaten	blz. 4
5.1 PTU	blz. 4
5.2 Wind	blz. 5
5.3 Code berichten	blz. 6
5.4 Operationele aspecten	blz. 6
6. Samenvatting en conclusies	blz. 9
7. Referenties	blz. 10

## bijlagen:

Tecemo rapport  
blokschema's.

## 1) Inleiding

Eind 1983 is gestart met een vergelijkend onderzoek van twee commercieel verkrijgbare radiosondesystemen. Doel van dit onderzoek is na te gaan welk systeem het meest geschikt is om in de loop van 1984 het huidige KNMI-radiosondestation te vervangen. Deze vervanging is om drie redenen gewenst:

1. Productiestop medio 1984 van de thans door het KNMI gebruikte sonde. Er bestaat geen alternatieve sonde die in combinatie met de huidige apparatuur zou kunnen worden gebruikt.
2. De onvoldoende nauwkeurigheid van het huidige station. De uitlezing van meetwaarden via een analoge recorder is een belangrijke oorzaak van de onnauwkeurigheid van het huidige station (1). Het gebruik van de radar voor de windmeting resulteert onder bepaalde omstandigheden in een onvolledige of geheel ontbrekende windmeting.
3. De wens om de zwaartepunten van de personele inzet bij de OD te kunnen verleggen. Een meer geautomatiseerd radiosondestation vraagt minder mankracht, waardoor ruimte voor ander werk vrij komt.

De vergeleken stations zijn:

- Micro-cora station; R(W)S80-15N sonde; merk Vaisala
- W-8000 station; 1524-511 sonde; merk Beukers

Beide stations gebruiken het Omega navigatie netwerk voor de windmeting.

Het Beukers station werd te laat geleverd en raakte bovendien defect, waardoor voor een directe vergelijking van beide stations slechts vier dagen beschikbaar waren.

Het huidige KNMI-station (RS21-12C sonde, merk Vaisala) werd ter vergelijking bij de experimenten betrokken.

## 2) Systeembeschrijving

De drie onderling te vergelijken stations zijn als volgt samengesteld (zie blokschema 1,2 en 3):

### 2.1) Het huidige station

Dit station omvat een radiosonde ontvanger, een signaalomzetter en een analoge recorder. Voor de windmeting maakt het KNMI gebruik van de radar (WF 100-5, 3.2 cm).

De operateur zet de analoge PTU meetresultaten (PTU = luchtdruk, temperatuur en relatieve vochtigheid) om in een voor de KNMI-computer geschikte vorm. De radar data ondergaan een soortgelijke behandeling. De computer berekent hoogte en wind, en stelt het code bericht samen.

### 2.2) Micro-cora station

Dit station is opgebouwd rond een mini-computer (NOVA 4) en omvat naast de radiosonde ontvanger een Omega ontvanger. Het is een semi-automatisch station. De vluchtvoorbereiding verloopt ruwweg analoog als bij het huidige station, daarna is de verwerking tot het code-bericht vrijwel automatisch.

De standaard gegevens worden m.b.v. een teletype geprint. Tijdens de eerste vijf minuten wordt elke tien seconden een tien-seconden gemiddelde geprint, daarna elke halve minuut. Daarnaast worden op een analoge papier-recorder de PTU-gegevens geregistreerd. Als extra informatie kan grondwind of afstand/richting geprint worden. De middelingstijd voor de windberekening kan bij de initialisering van het systeem ingesteld worden (2-6 min. in stapjes van 10 seconden); de standaard waarde is 4 minuten.

Het station was uitgerust met een digitale cassette recorder voor opslag van de radiosonde gegevens. Een vlucht kan dan later a.h.w. worden herhaald, zodat eventuele fouten gecorrigeerd kunnen worden.

### 2.3) Beukers station

Dit station is opgebouwd rond een personal computer van IBM, en omvat naast een radiosonde ontvanger een Omega ontvanger. Het is een semi-automatisch station.

Bij de vlucht voorbereiding moet een aantal op het beeldscherm gepresenteerde vragen beantwoord worden. Deze gegevens kunnen, op initiatief van de operateur, op een printer worden vastgelegd. Naar keuze worden PTU- of de wind data gescheiden op een kleuren-beeldscherm weergegeven. De presentatie mode bepaalt tevens welke data er bewerkt worden. Een in het systeem opgenomen geheugen-buffer heeft een capaciteit om ca 25 min. ruwe data op te slaan. Het is noodzakelijk dat de operateur er voor zorgt dat bij de verwerking van de PTU- en de wind data geen grotere tijdsverschillen ontstaan dan 25 min. (in verwerkingstijd). Gebeurt dat wel dan wordt de geheugenruimte overschreden en vanaf dat moment worden geen windgegevens meer opgeslagen.

Het systeem kan uitgebreid worden met een plotter waarop de PTU-data met hoge resolutie geplot kan worden. Deze optie bestaat ook uit een personal computer van IBM. Deze is niet geheel gelijk aan de basiscomputer en kan (ingeval van storing) niet daarmee worden verwisseld.

Het documenteren van de vluchtgegevens vindt na de opstijging plaats op een matrix-printer. De hiervoor benodigde handelingen moeten door de operateur verricht worden en geschieden dus niet automatisch.

Het station was uitgerust met een analoge (stereo) cassetterecorder. Een vlucht kan dan later a.h.w. worden herhaald, zodat eventuele fouten gecorrigeerd kunnen worden.

### 3) Nauwkeurigheidseisen

Radiosonde metingen worden internationaal uitgewisseld. Afspraken over nauwkeurigheden zijn dan noodzakelijk; een uniforme set van eisen is wenselijk. Hier is zowel de commercie als de gebruiker mee gediend. De te stellen nauwkeurigheidseisen zullen een compromis zijn tussen wat technisch haalbaar is en de gewenste nauwkeurigheid voor synoptisch en klimatologisch gebruik. Een eerste aanzet zou kunnen zijn:

- hoogteberekening: onder de 5 km.: 5 m.  
                                  : boven de 5 km.: 0.1%.
- temperatuur          : 0.3 K
- luchtdruk           : 2 mbar
- relatieve vochtigheid: 10% als P groter dan 700 mbar  
                                  : 25% als P kleiner dan 700 mbar

#### 4) Beschrijving van het experiment

Om de radiosonde waarnemingen onderling te kunnen vergelijken zijn voor zover mogelijk steeds twee radiosondes aan één ballon opgelaten. Indien dit in combinatie met de RS21 gebeurde hing de tweede sonde ca 5 meter onder de RS21. Bij de combinatie RS80 - BEUK hingen de twee sondes op gelijke hoogte met een onderlinge afstand van ca. 1.3 m. In tabel 1,2 en 3 zijn de vluchtgegevens weergegeven.

tijd vergelijking	00.00	06.00	12.00	18.00	totaal
RS80		3		2	5
RS80-RS21	1		5		6
RS80-BEUK		1		3	4
BEUK-RS21			5		5
BEUK		2		5	7

Tabel 1: tijdstip en aantal oplatingen.

systeem	aantal vluchten	PTU niet compleet	wind niet compleet	wind onbruikbaar
RS80	15	1	6	0
BEUK	16	7	8	16
RS21	11	0	0	0

Tabel 2: aantal niet complete oplatingen.

sonde type	PTU niet compleet	wind niet compleet	verklaring
RS80	1	1	radio ontvangst gestoord
		1	Omega antenne afgeknipt door de operateur
		4	batterij te lang voor de oplating geactiveerd
Beukers	3	3(2+1)	geen programma start, eenmaal was de omega ontvanger defect
	1	1	software foutmelding, deling door nul
	1	1	verkeerde batterij*
	1	1	programmastop als gevolg van luchtdruk dip
	1	1	radio ontvangst gestoord veroorzaakt door foutieve bediening

Tabel 3: vermoedelijke oorzaak niet complete oplating.

\*) Er zijn 3 verkeerde batterijen geleverd. Eenmaal is een poging gedaan om met een vervangende set batterijen te werken.

## 5) Resultaten

Zie voor een uitgebreidere beschouwing het TECMO rapport dat toegevoegd is als bijlage.

### 5.1) PTU

Het fundamentele probleem bij radiosondevergelijkingen is dat de waarheid onbekend is. ECMWF-analyses die uit radiosondemetingen worden afgeleid geven slechts een benadering van de waarheid. Systematische fouten (bijv. de stralingsfout) in de individuele metingen zullen systematische fouten in de analyse veroorzaken. Aangezien in de meteorologie vaak de horizontale gradienten van belang zijn is het wenselijk dat alle stations hetzelfde radiosondetype gebruiken. In West-Europa wordt echter een aantal verschillende radiosondetypen gebruikt, dus zal het verschil tussen analyse en werkelijkheid van plaats tot plaats verschillen. Zo zal de analyse in de omgeving van De Bilt tenderen naar de (mogelijk foutieve) meting van de RS-21. Ondanks deze onvolkomenheden hebben we in de vergelijkende tabellen steeds de ECMWF-analyse gegeven.

De spreiding in de resultaten is zodanig dat voor een nette statistische analyse een veel groter aantal oplatingen nodig zou zijn dan realiseerbaar was. De globale indruk is echter dat alle systemen redelijk de voorgestelde criteria benaderen, waarbij de RS-21 steeds

wat te warm lijkt, en de Beukers wellicht wat te koud. Alle druk-, temperatuur- en vocht-sensoren leken, ook onder laboratoriumcondities, naar behoren te functioneren. De Beukers druksensor produceerde éénmaal geheel foutieve waarden.

Bij de vergelijking van berekende geopotentiële hoogte met door middel van radar bepaalde hoogte is het van belang zich te realiseren in hoeverre meetfouten in de PTU-waarden aanleiding kunnen geven tot verschillen. In het TECEMO-rapport wordt hierop iets dieper ingegaan. Het gedrag van de temperatuursensoren in inversies werd meer in detail bestudeerd. Wanneer de sonde door een wolk gaat wordt de sensor grotendeels nat of verijst. Als de sonde daarna boven de wolk in veel drogere lucht komt, zal tot het water/ijs is verdampt een te lage temperatuur worden aangegeven door een natteboleffect. De ouderwetse grote sensor van de RS-21 heeft een gunstige geometrie, waardoor slechts een relatief klein deel nat wordt en de afwijking van de drogebol-temperatuur gering is. De moderne kleine sensoren (RS-80, Beukers) worden voor meer dan de helft nat, zodat grote fouten ontstaan. Een nadere analyse van dit verschijnsel wordt in het TECEMO-rapport gegeven.

## 5.2) Wind

Voor de windmeting maken de stations Micro-cora en Beukers gebruik van het Omega navigatienetwerk (2). Dit netwerk bestaat uit 8 zend-stations die sequentieel gedurende ca. één seconde een ongemoduleerde draaggolf van 13.6 KHz uitzenden. De complete zendcyclus duurt 10 seconden. De door het grondstation ontvangen Omega signalen worden gebruikt om het systeem te synchroniseren. Uit de door de radiosonde zelf ontvangen Omega signalen, die onbewerkt naar het grondstation worden doorgezonden, kan een windmeting worden afgeleid, aangezien de radiosonde positie t.o.v. de zenders steeds kan worden bepaald uit de fasen van de verschillende Omega signalen.

De continu veranderende propogatiecondities zullen resulteren in steeds veranderende faseverschillen tussen de ontvangen signalen, ook als de positie van de ontvanger niet verandert. Er wordt dan een schijnbare wind gemeten, waarvoor gecorrigeerd moet worden (tot ca 7 m/s). In het algemeen zullen ter plaatse van de radiosonde meer zenders worden ontvangen dan bij het grondstation. De schijnbare wind ter plaatse van de radiosonde kan daarom verschillen van die bij het grondstation, zodat de aan de grond gevonden correctie niet zonder meer voor de radiosonde mag worden toegepast. Voor de correctie van de radiosonde wind zijn door de fabrikanten enkele methodes ontwikkeld.

Beide systemen bewerken de Omega signalen op een verschillende manier. Aan de hand van de fabrieksdocumentatie kan men zich geen volledig beeld vormen van de werking van de systemen. Onderstaande beschrijving geeft slechts de interpretatie van de auteurs.



**Micro-cora:**

De fase van de Omega signalen wordt vergeleken met de fases van interne referentiesignalen. Daartoe worden 15 referentiesignalen gegenereerd, die onderling in fase verschoven zijn. Elk Omega signaal wordt steeds gedurende één seconde (continu) vergeleken met elk van deze 15 referentiesignalen. Elke vergelijking met een referentiesignaal bestaat uit 20 metingen met een duur van 50 ms. De basis resolutie van een meting is 0.26%. In een seconde worden dus  $20 \times 15 = 300$  metingen uitgevoerd. Het gebruik van meerdere, in fase verschoven referentiesignalen maakt het mogelijk vervorming van het Omega-sig-naal te detecteren en daarvoor te corrigeren. In de bewerkingsprocedure wordt statistische kwaliteits-bewaking uitgevoerd. In principe maakt het systeem gebruik van alle Omega stations en selecteert automatisch.

**Beukers:**

De fase van de Omega signalen wordt vergeleken met de fase van een intern gegenereerd referentiesignaal. Per Omega signaal worden 136 individuele metingen uitgevoerd. De basis resolutie van een meting is 0.1%. Grote afwijkingen binnen elke groep van 136 metingen worden verworpen. Het systeem maakt gebruik van drie Omega stations, die vóór de oplating door de operateur worden geselecteerd.

De windmeting van het Micro-cora station en de radar gaven een overeenkomstig beeld. De verschillen zijn zo klein dat we niet kunnen zeggen welke meting de beste is.

De windmeting met het Beukers station heeft geen enkele maal geleid tot een zinvol resultaat. De afwijkingen t.o.v. de radar waren groot of zeer wisselvallig. In het TECEMO rapport worden deze problemen wat nader geanalyseerd.

**5.3) Code berichten**

Zowel het Micro-cora- als het Beukers station leveren een compleet temp-code bericht. Deze voldoen aan de WMO eisen, met uitzondering van enkele details in het Beukers code bericht, nl:

- Het tropopauze niveau wordt niet als significant niveau gegeven in deel 5 van temp-code B en D.
- Twee verschillende manieren van afronden m.b.t. de dauwpuntsdepressie komen voor, bijv.  $9.6^{\circ}\text{C}$  als 60 bij 100 mb maar als 59 op het tropopauze niveau.

**5.4) Operationele aspecten**

Bij de beoordeling van de radiosonde stations op hun operationele inzetbaarheid werden enkele ervaren radiosonde operateurs betrokken. De

onderstaande tabel geeft een weergave van de ervaringen.

omschrijving	RS-21	Micro-cora	Beukers
invoer fabrieks ijking	papierstrookje op recorder	ponsband invoeren	bar code, vereist veel geduld en ervaring
ijken van de radiosonde	correctie geheel manueel	correctie dmv teletype invoeren, deze wordt automatisch verwerkt	niet mogelijk
afregelen zend frequentie	eenvoudig	bereikbaarheid trimmer lastig	wordt sterk beïnvloed door directe omgeving
activering batterij tijd grenzen in minuten	min 20, max ?	min 0, max 20 max is te kort	min 10, max 30 beschikbare tijd is wat kort
keuze Omega stations	n.v.t.	automatisch	manueel, drie stations moeten door de operateur vooraf gekozen worden. Omschakelen tijdens de vlucht niet mogelijk
invoer coördinaten	n.v.t.	eenmalig	eenmalig; coördinaten worden in een ongebruikelijk data formaat aangegeven
invoer grond gegevens	op willekeurig tijdstip	na de detectie van de oplating op willekeurig tijdstip	max 10 min voor de start van een opstijging. Geen melding bij tijdoverschrijding
afregelen radiosonde ontvanger	eenvoudig	soms last van radiosonde spiegel freq.	soms last van radiosonde spiegel freq.
afregelen tijdens opstijging nodig	nee	af en toe	regelmatig

achteraf correctie bij foutieve grondgegevens	mogelijk	mogelijk, neemt echter even veel tijd als een werkelijke oplating	zie RS 80; bovendien veranderen van bekabeling
presentatie vorm	analoge papier recorder (PTU) radar tabel (wind)	tabel(teletype) analoge papier recorder	grafisch beeldscherm; PTU en wind worden gescheiden en niet tegelijk gepresenteerd
data presentatie en opslag	papier recorder output, computer printer output, ponsband	teletype output ponsband. papier recorder output	op initiatief van de operateur op grafische matrix printer, plot
bediening	veel mankracht	eenvoudig heeft geen continu bezetting nodig. Presentatie vorm vereist door tabel. vorm veel ervaring. Toevoeging analoge recorder is dan ook wenselijk	meer actie dan microcora station. Plot-optie moet regelmatig gesynchroniseerd worden

Tabel 4: Operationele aspecten

Aan de tabel kunnen nog de volgende opmerkingen toegevoegd worden.  
RS21: Het met de hand bepalen van significante punten vanaf de recorder registratie introduceert fouten, zelfs bij de meest ervaren operateur. Met name de grondcalibratie kan niet zorgvuldig genoeg uitgevoerd worden, omdat een hierin gemaakte fout doorwerkt in alle meetresultaten. Bovendien kan een foutieve calibratie achteraf nauwelijks ontdekt en gecorrigeerd worden.

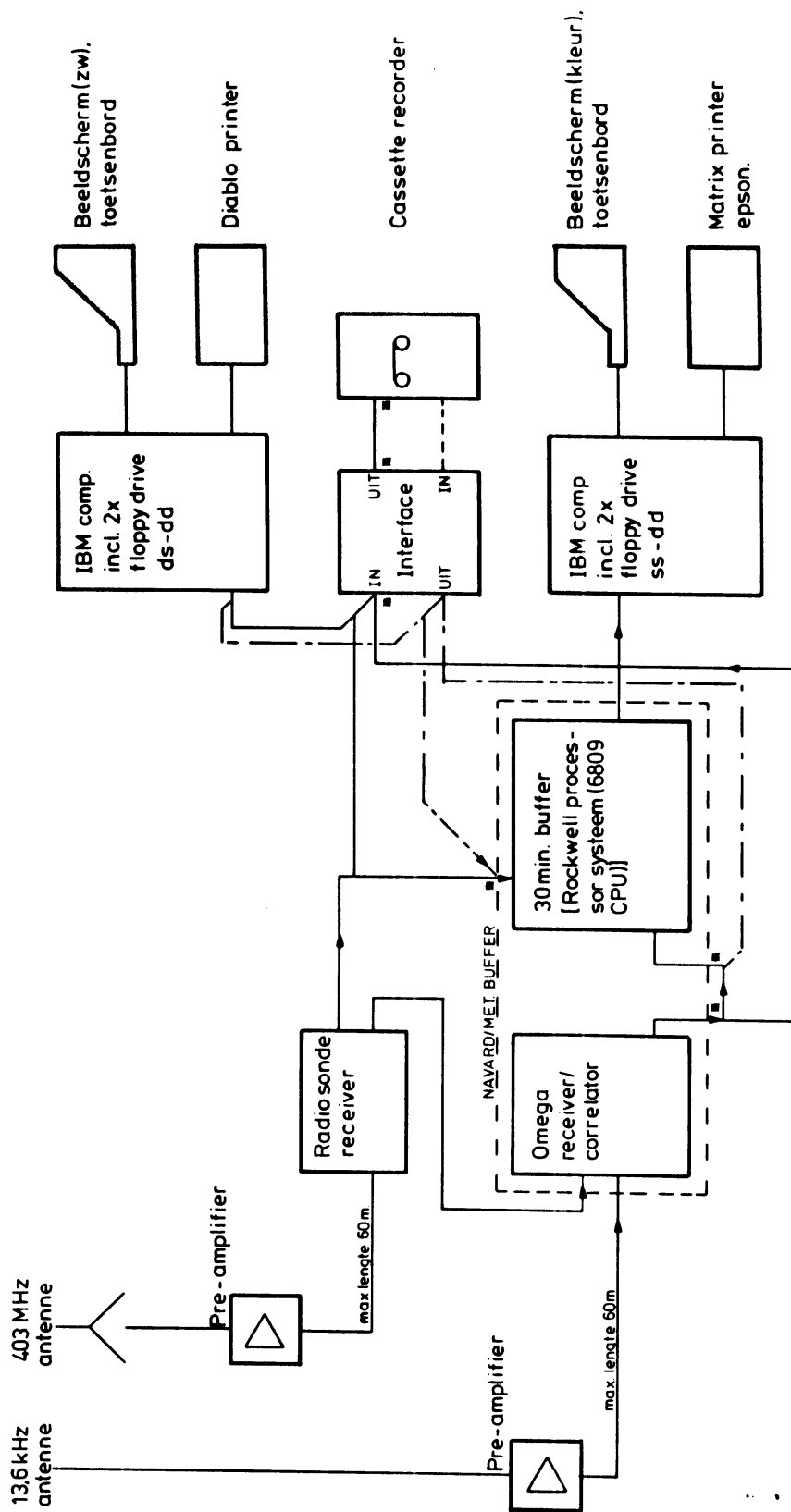
Beukers: Direct na de start van een opstijging zal, door de langs-stromende lucht, een klepje op de sonde open gaan. Wanneer dit abusievelijk gebeurt vóór de opstijging wanneer het systeem in de startmode is, wordt een opstijging gedetecteerd en het systeem voortijdig opgestart. De procedure voor de vluchtvoorbereiding moet dan in zijn geheel opnieuw doorlopen worden. Omdat het klepje (te) makkelijk open gaat is deze constructie erg onpraktisch. Tijdens de opstijging moet regelmatig van presentatie mode veranderd worden om de wind-data niet verloren te laten gaan. Dit vraagt een voortdurende attentie van de operateur. De vlucht herhaling m.b.v. de cassetterecorder geeft niet exact hetzelfde resultaat als de werkelijke opstijging. Het ontbreken van een tijdsynchronisatiesignaal op de cassette is een mogelijke oorzaak. De presentatie van de meetresultaten op het beeldscherm en de mogelijkheid op het oog significante niveau's te wijzigen werd als zeer prettig ervaren.

#### 6) Samenvatting en conclusies


- 1) De nauwkeurigheid van de PTU-meting van alle drie de stations is acceptabel voor synoptisch gebruik. De voorgestelde nauwkeurigheden worden echter niet in alle gevallen gehaald. Het aantal vergelijkende metingen is voldoende om een indruk te geven van de te verwachten kwaliteit.
- 2) De windmeting van het Micro-cora station voldoet aan onze eisen.
- 3) Een kleine temperatuursensor (RS80, Beukers) is gunstig m.b.t. de straling en responsietijd. De ouderwetse grote bimetaal sensor (RS21) blijkt zich in inversiesituaties met wolken beter te gedragen.
- 4) Operationeel gebruik:
  - RS21 - een eenvoudig station, vereist veel mankracht, gevoelig voor fouten.
  - Micro-cora - Een prettig te bedienen station.
  - Beukers - Een station met een zeer aantrekkelijke presentatievorm; met uitzondering van verscheidene details plezierig te bedienen.
- 5) Een nauwe samenwerking tussen producent en gebruiker is noodzakelijk.
- 6) Een eenduidige set van nauwkeurigheidseisen zal moeten worden ontwikkeld.

7) Referenties

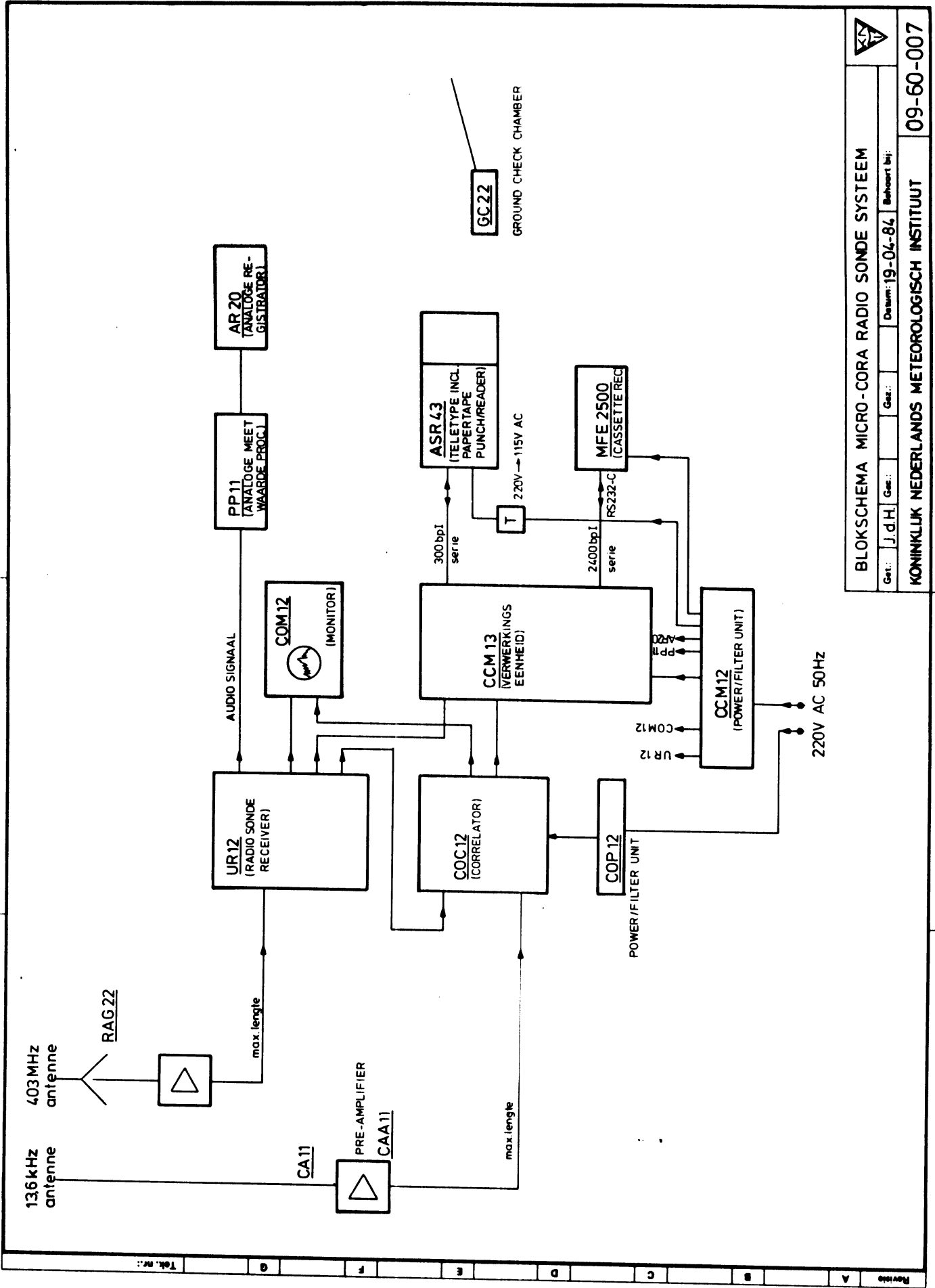
- 1) Muller, S.H. en K. Annema, 1983: De oorzaken van de afwijkende radiosonde resultaten in De Bilt. KNMI Memorandum IG-INSA 83-07.
- 2) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 5th ed., (WMO-no 8), 1983.



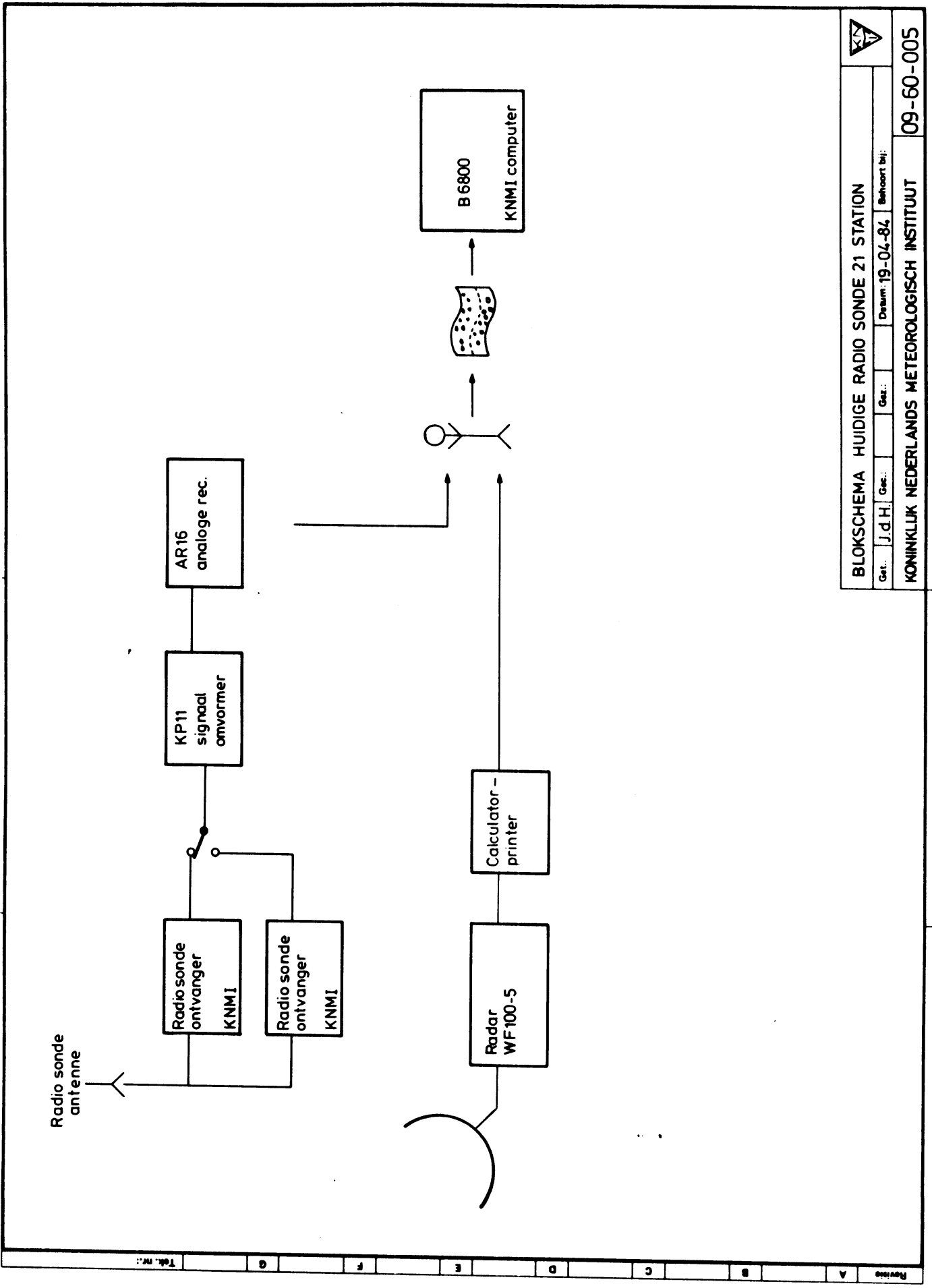
■ BIJ SIMULATIE LOS TE NEMEN CONNECTOREN  
 HIERVOOR IN DE PLAATS KOMT EEN ANDERE SNOER  
 INCL. CONNECTOREN

			
<b>BLOKSCHEMA W8000 RADIO SONDE SYSTEEM</b>			
Grt.:	J. d. H.	Ges.:	Datum: 19-04-84
			Behoort bij:
			<b>09-60-006</b>

A	B	C	D	E	F	G	Tek. nr.:
---	---	---	---	---	---	---	-----------



A	Revisie
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	Tek. nr.:



05-60-005



BLOKSCHEMA HUIDIGE RADIO SONDE 21 STATION

Get.: J.d.H. Get.: Datum: 19-04-84. Behoort bij:

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

09-60-005

Revisie	A	B	C	D	E	F	G	Tek. nr.:
---------	---	---	---	---	---	---	---	-----------



## A COMPARATIVE INVESTIGATION OF THREE COMMERCIAL RADIOSONDE SYSTEMS

K.H. Annema, W.A.A. Monna and S.H. Muller  
Royal Netherlands Meteorological Institute,  
De Bilt, The Netherlands

### 1. INTRODUCTION

Considering the purchase of an automatic radiosonde and windfinding system, three commercially available systems were compared. A similar comparison (except for windfinding) was carried out some years ago at Payerne (Phillips and Richner, 3). We have paid special attention to windfinding, resolution of fine structures and operating convenience.

### 2. EXPERIMENTS

#### 2.1 System descriptions

Three types of radiosounding systems were compared:

- a. RS21-12C sonde with analog PTU recorder. ECC WF 100-5 3,2 cm Radar for wind-measurements. Manually operated system, since 1979 in use at KNMI. The observer feeds the PTU and wind data into the central computer of KNMI, which calculates heights and produces code messages.
- b. RS80-15N sonde with Micro-cora system plus two options: an analog PTU recorder and a cassette recorder for post flight simulations (Vaisala News, 6).
- c. BEUKERS Microsonde (BEUK) with Beukers W-8000 system plus two options: a plotter for analog data and a cassette recorder for post flight simulations (Beukers and Friedman, 1). In this sonde VIZ-sensors are used.

Height computation for RS80 and BEUK is a successive summing of small layers, determined by a fixed time interval. For the RS21 significant levels are determined by the operator, followed by height computations of the resulting layers.

The RS80 and BEUK use the radio navigation system Omega for wind measurement. Both systems operate semi-automatically and contain a computer which calculates heights and code messages. The communication with the computer is by teletype (RS80) or terminal (screen and key board) (BEUK). The results are printed and/or punched (optional for BEUK).

#### 2.2 Description of the experiments

The number of flights is summarized in table 1; radar measurements were carried out during every flight. In table 2 the error types are summarized and an error description is given in table 3. The flights at 00.00 and 12.00 GMT were combined with the routine synoptic flights. Moreover a number of routine synoptic flights (RS21 only) carried out during the test period was used to compare RS21 data with routine radar data and routine ECMWF-analyses. This explains the somewhat larger number of flights used for these comparisons. During dual flights the RS80 or BEUK was suspended 5 m below the RS21; RS80 and BEUK were horizontally separated by a 1.3 m long bar.

time compar.	00.00	06.00	12.00	18.00	total
RS80		3		2	5
RS80-RS21	1		5		6
RS80-BEUK		1		3	4
BEUK-RS21			5		5
BEUK		2		5	7

system	number of flights	PTU not complete	wind not complete	wind data useless *)
RS80	15	1	6	0
BEUK	16	7	8	16
RS21	11	0	0	0

Table 2. Error types. \*) see section "Wind".  
Table 1. Number of flights.

PTU not complete	Wind not complete	explanation	Sonde type
1	1	reception interference	RS80
	1	Omega antenna cut off by operator	
	4	battery failure (wetted too long before launch?)	
3	3 (2+1)	program did not start; once the omega receiver was defective	BEUK
1	1	software error (division by zero)	
1	1	battery problems **)	
1	1	program stopped because of pressure dip	
1	1	reception interference	
	1	caused by operator	

Table 3. Error description. \*\*) three batteries of an old type were delivered with the sondes; once this led to an unsuccessful flight.

### 3. RESULTS

#### 3.1 PTU-computations

At four standard pressure levels we compare the PTU-values and the computed geopotential height found by the three systems. The true values in the atmosphere being unknown, the routine ECMWF-analysis is used as a height-reference. Here we must realise that the daily soundings at De Bilt, as used by ECMWF, introduce some bias in favour of the RS21. In table 4 the differences in temperature and height are given. Only few dual soundings were carried out succesfully, so the mean values and standard deviations shown are based on a few cases only. No separation has been made between day and night soundings; the numbers of flights were too small and in November and December the difference is small anyhow.

level mbar	temperature (°C)			height (gpm)			height (m)
	RS80-RS21	BEUK-RS21	BEUK-RS80	RS21-ECMWF	RS80-ECMWF	BEUK-ECMWF	
700	-0,7 ± 0,6	-0,8 ± 0,3	-0,3 ± 0,3	+ 7,2 ± 9,0	+5,3 ± 12,8	-1,0 ± 0	3000
500	-0,2 ± 0,7	-0,7 ± 0,9	-0,5 ± 0,2	+ 9,2 ± 12,5	+4,2 ± 13,1	-3,5 ± 2,1	5550
300	-0,1 ± 0,9	-0,2 ± 1,9	-1,2 ± 0,8	+ 3,7 ± 16,6	-4,5 ± 9,6	-16,0 ± 12,7	9150
100	-0,3 ± 0,9	+0,7 ± 3,3	-1,5 ± 0,4	+11,0 ± 28,2	+7,7 ± 5,0	+11,0 ± 31,1	16100
	n = 6	n = 2	n = 3	n = 29	n = 6	n = 2	

Table 4. Temperature and height comparison.

Realizing that a temperature difference of + 0,6 K causes a change in height of about +0,2%, we see that the differences in computed height roughly correspond to the detected temperature differences. This suggests that the pressure and humidity values of all systems are sufficiently accurate for the computation of the height of standard pressure levels. Here +0,1% in height corresponds to a constant offset of roughly +2 mbar or +10% RH below and +25% RH or more above the 700 mbar level. The differences we found compare reasonably well with the data from Philips and Richner (3). When we accept the ECMWF-analyses as height-reference, we should conclude that the RS21 is "too warm", the BEUK "too cold" (only two soundings) and the RS80 perhaps the best compromise.

The differences in table 4 should be compared with the accuracy required for atmospheric radiosoundings. Many different requirements are given by WMO (8), and the resolution of the international codes (7) also suggests accuracy-limits. It cannot be said that all these requirements fully match. We think a consistent set of accuracy-requirements for (synoptic) radiosoundings should be developed. Sensitivity test of Numerical Weather Prediction Models could be useful for this purpose. We propose the following set of consistent requirements as a first estimate of a compromise between meteorological requirements and instrumental limitations: height 0,1%; temperature 0,3 K; pressure 2 mbar; humidity 10% RH, 25% RH above 700 mbar level. The proposed height accuracy only holds for standard pressure levels; the accuracy at significant levels will be at least one order of magnitude worse unless the accuracy of the pressure measurement is one order of magnitude better (Schmidlin et al., 4). Looking at the data in table 4 it now seems (the truth is unknown) that none of the systems fully meets the requirements proposed here. However, the results are so close to the requirements that the accuracy is acceptable for synoptic purposes. The use of radar is attractive to measure radiosonde height independently, and so discussed by several authors (Schmidlin et al., 4; Schmidlin and Finger, 5). In addition to the accuracy-requirements given before, we think it is useful to give a brief discussion of the possible errors.

Errors in the pressure measurement of the sonde cause a difference between radar and computed height. At standard pressure levels the geopotential height computation is only little affected by a pressure error, but the radar height is read out at the moment the sonde erroneously indicates being at a certain pressure level. So the height difference is roughly given by the thickness of the layer which corresponds to the pressure error at the level in question. So now the accuracy for the pressure measurement, given before as 2 mbar, should be about an order of magnitude better. For a significant level the radar height is read out at the very moment this significant level is detected, so time synchronism is important. Here one second corresponds to 5 m (ascent-rate of 300 m/min). When recorder output is used, the resolution on the paper can be the limiting factor (RS21, about 6 s). The computed geopotential height of a significant level is also affected by a pressure error, as already mentioned before.

The radar itself also introduces errors. The accuracy in distance should be about 10 m, in elevation 0,1 - 0,01°, depending on distance and elevation. When no refraction correction is taken into account, errors up to 100 m can occur. The distance between radiosonde and radar reflector should not be forgotten (RS21: 60 m after one hour).

Unfortunately the accuracy of our radar is insufficiently for radar height comparisons, but sufficiently good for the fundamentally relative wind measurements.

#### 3.2 Sensor behaviour

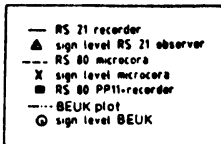
Some simple tests on the sensors were carried out in the laboratory. The results are shown in table 5. Measurements were done using the factory calibration. Before real flights the factory calibration is corrected by a ground check (RS21 and RS80).

	temperature (°C)			humidity accuracy at 20°C, 60%	pressure accuracy at 30-1000 mbar
	accuracy at 20°C	accuracy at -20°C	$\tau$ (sec)		
RS80	$+0.2 \pm 0.1$ (n=10)	$+0.1 \pm 0.3$ (n=10)	1,5	5% (n=3)	better than 1 mbar (n=2)
RS21	typ. $-0.5^* \pm 0.5$		6		
BEUK	ground check not possible (pressure switch, antenna problems)				

Table 5. Sensor accuracy and time constants  $\tau$ . \*: depends on the batch chosen.

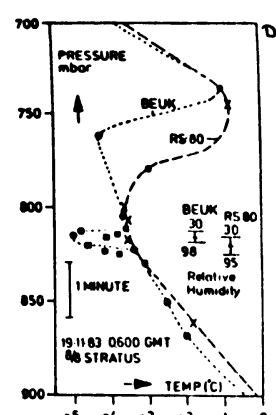
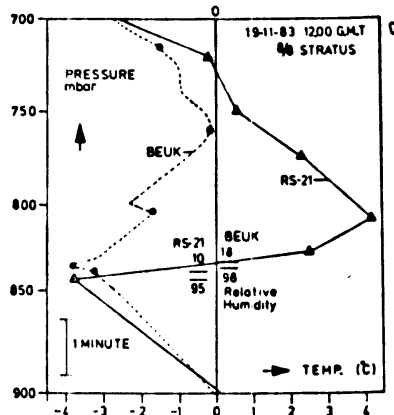
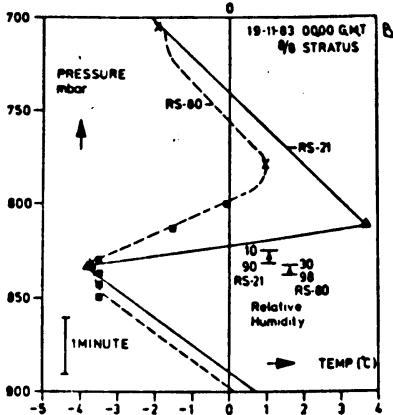
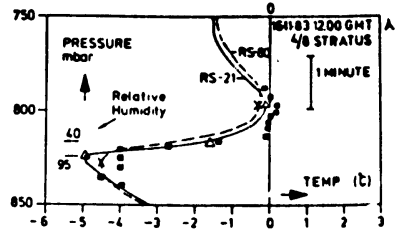
Apart from the laboratory tests we tried to interpret the sensor behaviour during the flights. Very often inversions were present. This yielded the possibility to study the dynamic behavior of the sensors. In figure 1 some typical examples are shown which will be discussed in detail.

Figure 1.



Temperature as a function of pressure in inversions for several combinations of sondes. Also indicated are the humidity changes.

a and b: RS21 - RS80  
c: RS21 - BEUK, d: RS80 - BEUK



In all figures relative humidity data are given around the inversion. Strange enough there is often little agreement between the radiosondes about the level where the humidity changes and the value of the humidity above the inversion. Some possible causes are:

- RS21 measurements are obtained manually from the recorder paper, which introduces rather large errors.
- The humidity calibration of the RS21 is poor.
- Ground calibration of BEUK was impossible, so that the accuracy of the sensors could not be checked. At least once (not shown here) the pressure measurement was obviously erroneous.

Figure 1a shows an inversion on a partly clouded day. Probably the sonde did not pass through a cloud. The agreement of the different curves is satisfactory. Comparing the recorder data, we see that the time constant of the RS21 sensor is larger (compare table 5). But the Micro-cora program introduces an artificial time constant by its 10 second averaging. This also influences the humidity measurement. Although the resulting broadening of the inversion is not important for synoptic use, it should be kept in mind during experiments.

Figure 1b, 1c and 1d show inversions on completely clouded days, so the sonde had to pass through a cloud layer. In these cases the RS21 sensor is superior to both the RS80 and the VIZ sensor. Probably the sensors get (partly ?) wet or iced while passing through the cloud and something like a wet or ice bulb temperature will be indicated. Because of their geometrical properties the small RS80 and VIZ sensors get wet for a relatively larger part and therefore get colder. They are openly exposed to the surrounding air and have an elliptical or cylindrical shape. That means that at least half of the surface of the sensor will be covered with water or ice. The RS21 sensor is a large bimetallic ring mounted in a duct. Only the front edge of the ring will get wet or iced, and this is only a small percentage of the total surface of the sensor. So we may expect that the RS80 and VIZ sensors will nearly indicate the wet (ice) bulb temperature, but that the RS21 sensor will be only slightly too cold. Similar effects were observed by Phillips et al. (2). They also measured drying times of several wet sensors, yielding times of  $\frac{1}{2}$  to 1 minute. Figure 1b and 1c suggest drying times of 1 to 3 minutes. Possibly our sensors were covered with ice instead of water, but we are not able to discriminate positively between wet or iced sensors. All inversions during our comparisons started below zero so that we are not sure that these large and prolonged effects also occur above freezing. No freezing or melting

events were observed.

Fig. 1d requires some additional attention. In this case no RS21 measurements are available, but it seems that the real temperature rise, probably up to -1 or 0°C, occurs at 810-820 mbar! The sharp peaks to the left at 815 mbar are caused by cooling of the iced (wet) sensor as the relative humidity drops, followed by the warming up in the air above the inversion. It is interesting to notice that the Micro-cora program has recognized this peak as unrealistic, and has omitted it.

Conclusion: Although the modern small sensors offer advantages with respect to radiation errors and corrections and time constant, the effect shown in this section is a drawback, especially for experimental research. Because the RS21 and similar sensors will probably disappear in due time, it is important that a modern temperature sensor is developed which is not sensitive for this wetting error. A protection against water (cloud) droplets during the first part of the flight might be a solution. The protection should be removed at lower pressures, because it will increase the radiation error.

### 3.3 Wind

The RS80 and BEUK use the Omega Navigation Network (8) for wind measurements. Both systems use the same basic technique to measure the phase-differences, but there are some differences.

- a. RS80. The Micro-cora system uses all Omega stations (except Japan and Australia) which can be received sufficiently strong (automatically decided by the system continuously). Phase-differences between each station and the reference signal are measured and averaged to 10 s mean values. Successive averaged values are computed and yield together wind speed and direction. This system worked satisfactorily. Using a time averaging of two minutes the systematic differences with the radar vary from less than 1 m/s (low wind speed) to 3 m/s. Peak values showed slightly larger differences. Generally the radar wind speeds were higher. Vaisala offers the possibility to correct for propagation fluctuations by use of the Omega reception by the ground-station. In our case this is unwise, because the ground signals are weak and unstable.
- b. BEUK. Only three Omega stations are used. Before the flight the operator must decide which three are received best. Although the Omega stations were mostly (but not always) strong enough during the flight, the wind data we obtained in this location were absolutely useless. Two examples are shown in table 6 and 7. The errors in table 6 (jumps of about 60 degrees and 8 m/s) might be explained in the following ways.
  1. In the averaging of the measured phase differences the BEUKERS system accepts too many values. If sudden electromagnetic disturbances are present, completely wrong values might be included, affecting the average. The use of the continuity of successive averages should enable the system to exclude such spurious errors.
  2. Using one station only the component of the wind speed in the direction of the propagation speed can be measured accurately, provided that the wind is larger than the propagation speed. The three stations which were always strong enough are nearly on a straight line. Under unfavourable circumstances (low wind speed, wrong direction) this will introduce errors in both wind speed and direction. The Vaisala system uses all available stations and so reduces this error.

We have no explanation for the large jumps in table 7.

time	BEUK		RS80		radar	
	DD	FF	DD	FF	DD	FF
10	310	13.6	321	9.8	330	8.3
11	346	7.0	322	10.7	330	9.4
12	14	10.1	323	10.7	330	10.0
13	299	13.3	322	10.7	321	11.6
14	306	16.1	319	11.5	314	11.1
15	324	7.2	316	11.8	319	12.7

Table 6. Wind example 1.

time	BEUK		radar	
	DD	FF	DD	FF
35	214	11.6	212	10.5
36	227	20.3	215	8.8
37	232	106	227	13.8
38	124	412	236	16.6
39	297	499	243	18.8
40	234	35.7	243	20.0

Table 7. Wind example 2.

### 3.4 Code-messages

Both RS80 and BEUK system produce a complete temp-code message. These messages meet the WMO requirements, except for two minor details with regard to the BEUK system:

- the tropopause level is not given as a significant level in sections 5 of temp-messages B and D
- two different ways are used to round of the dewpoint-depression, for example 9,6°C as 60 at 100 mbar, but as 59 at tropopause level.

### 3.5 Operational aspects

In table 8 we summarize our experience with the operational use of the systems. Only those properties are included in which differences between the systems were observed.

	RS21	RS80	BEUK
entering factory cal.	paper position ..	tape reading ...	barcode (laborious) ..
ground calibration	manual corr. ..	teletype ...	not possible .
battery preparation	20 minutes ..	0 minutes ...	10 minutes ..
time limits; min, max	? ...	20 minutes ..	30 minutes ..
sonde freq. tuning	easy ...		
choice Omega stations		automatic ...	manual, before launch 2) .
entering ground data	any time ...	after launch ...	before launch 3) .
correction ground data		1) .	1) .
actions during launch	radar locking .	no action ...	3) .
data presentation	PTU ...	with recorder ...	PTU ...
during launch	wind .	without rec. ..	wind .
amount of data output	analog only .	sufficient ...	insufficient 4) .
reception stability			

Table 8. Evaluation of operational properties; appreciation indicated by number of dots.

- 1) impossible during flight; simulation takes too much time
- 2) only three stations are used; no change possible during flight
- 3) ground data must be entered less than 10 min. before launch
- 4) digital data output only after data reduction

#### Additional remarks

RS21: The manual extraction of data from the recorder-registration introduces large errors, unavoidable for even the experienced operator. Especially the ground calibration must be done very carefully, because an error at this point will influence all data. Moreover a wrong calibration cannot be discovered and corrected afterwards.

BEUK: A flap on the sonde should open after launch. If this happens before launch while the system is in the starting mode, the system wrongly detects a launch and a new start preparation has to be made. Because the flap opens easily, this is very unpractical. During launch the operator can watch either PTU or wind data on the screen. If PTU data are left for more than about 25 minutes on the screen wind data are lost because the buffer is too small. The flight simulations from the raw data on the cassette recorder were not exactly identical to the real ascent. This is probably due to the use of an analog cassette recorder without time synchronisation. The screen presentation with the possibility to add or remove significant levels was very much appreciated by the observers.

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

- The accuracy of all three systems is acceptable for synoptic PTU soundings, but does not fully meet the requirements we proposed. A reliable statistical comparison was not always possible due to the limited number of successful flights.
- The wind measurements from RS80 and radar were found to be similar to such an extent that one can hardly decide which one is the most accurate. BEUKERS produced unusable results.
- Small temperature sensors offer advantages with respect to radiation error and time constant. Cloud passages followed by a humidity jump can cause wet (ice) bulb effects on the temperature profile. Due to their geometry the old bimetal sensors in ducts were hardly sensitive for this error.
- Operating convenience:
  - RS21 - simple system, demanding much manpower; large chance of operator induced errors.
  - RS80 - convenient to operate.
  - BEUK - except for several details convenient to operate; attractive display of sounding on screen.
- A close cooperation between manufacturer and user of radiosonde systems is indispensable.
- A consistent set of accuracy requirements should be developed.

#### 5. REFERENCES

1. Beukers, J.M. and M. Friedman, 1981: A new radiosonde design concept for automated observations in the 1980's. 2nd WMO Techn. Conf. on Instruments and Meth. of Observation (TECIMO-II), Mexico City, Oct. 13-17, 1981, p. 249, abstract.
2. Phillips, P.D., H. Richner, J. Joss and A. Ohmma, 1980/81: ASOND-78: An intercomparison of Väisälä, VIZ and Swiss radiosondes. Pure and Appl. Geoph., 119 (1980/81), p. 259-277.
3. Phillips, P.D. and H. Richner, 1983: SONDEX - The ALPEx radiosonde intercomparison. 5th Symp. on Meteorol. Observ. and Instrumentation, Toronto, April 11-15, 1983, p. 141-147.
4. Schmidlin, F.J., J.J. Olivero and M.S. Nestler, 1982: Can the standard radiosonde system meet special atmospheric research needs? Geoph. Res. Lett., 9 (1982), 9 (Sept.), p. 1109-1112.
5. Schmidlin, F.J. and F. Finger, 1983: Recommended statistical tests for radiosonde intercomparisons. WMO Comm. for Instruments and Meth. of Obs., Int. Organising Comm. for Radiosonde Intercomparison 1984, First Session, Geneva, Nov. 28 - Dec. 2, 1983.
6. Vaisala News, vols. 90, 96, 97 and 98, Vaisala Oy, PL 26, SF-00421 Helsinki 42, Finland.
7. Manual on Codes, vol. 1, (WMO-No. 306), 1974.
8. Guide to Meteorol. Instruments and Meth. of Observation, 5th ed., (WMO-No. 8), 1983.