

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

VERSLAGEN

V - 352

B. Oemraw

Vergelijking tussen hoogtewindwaarneming
met radar De Bilt en theodoliet Cabauw.

De Bilt 1980

Publikatienummer: K.N.M.I. V-352(FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut
Fysisch Meteorologisch Onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.501.75 :
551.508.56

Vergelijking tussen hoogtewind-waarneming met radar
De Bilt en theodoliet Cabauw.

B. Oemraw

Februari 1980

Betekenis van de gebruikte symbolen:

α	Azimuth
ϵ	Elevatie
r	Slant-range
d	Horizontale ballonafstand
H	Ballonhoogte in gpm
Z	Hoogte boven (gem.) zeeniveau in geometrische meters
ϕ	Geopotentialaal
v	Windsnelheid (horizontale component)
ϕ	Windrichting
t	Tijd

1. Inleiding.

Door van een radiosonde op regelmatige tijdstippen de positie te bepalen kan men gegevens verkrijgen over de hoogtewind.

Daartoe moet de redelijke veronderstelling gemaakt worden dat de radiosonde passief met de wind mee beweegt.

Als men op twee tijdstippen t_1 en t_2 de positie kent dan wordt de gemiddelde horizontale wind tussen de hoogten waarop de radiosonde zich op deze twee tijdstippen bevond bepaald door de horizontale projectie van de verschilvector tussen de twee posities te delen door het tijdsverschil.

In De Bilt wordt deze positie bepaald m.b.v. een radar die gericht wordt op een met de sonde meegevoerd radar doel. De radar meet de afstand r (slant-range), het azimuth α en de elevatie ϵ ; deze waarneming is onafhankelijk van enige meting verricht door de radiosonde zelf.

Als men niet beschikt over een radar kan de positie van de sonde toch bepaald worden door met één theodoliet azimuth α en elevatie ϵ te meten en de hoogte te bepalen uit de gegevens van de sonde zelf (druk, temperatuur).

Deze laatste methode wordt gebruikt bij sonderingen bij de 200 m-mast in Cabauw.

De nauwkeurigheid van het resultaat hangt af van de nauwkeurigheid waarmee de grootheden die voor de berekening van de hoogtewind nodig zijn, bepaald worden.

Om een inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid van de windmeting, zijn van een aantal radiosondes die in Cabauw zijn opgelaten, gelijktijdig op de twee boven beschreven manieren de hoogtewind-gegevens bepaald. In dit verslag worden de beide methoden en de resultaten van de vergelijking beschreven.

2. Radar.

2.1 Principe van radar.

Met behulp van een gerichte antenne zendt men elektromagnetische golven de ruimte in. Zodra deze golven een doel treffen zal een min of meer groot deel van deze golven teruggekaatst worden. Deze teruggekaatste golven kunnen door een ontvanger worden opgevangen.

De voortplantingssnelheid (c) van elektromagnetische golven door de ruimte bedraagt $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

Daar deze voortplantingssnelheid bekend is, kan door het meten van het tijdsverloop tussen het uitzenden van de elektromagnetische golf en het ontvangen van de "echo" de afstand tot het doel worden bepaald. De richting van het doel komt overeen met de richting waarin de antenne staat.

2.2 Het bepalen van de afstand tot het doel.

De afstand (r) die een elektromagnetische puls in één microseconde (10^{-6} s) aflegt, is gelijk aan 300 meter

$$(r = c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \times 10^{-6} = 300)$$

Meet men nu de tijd dan volgt direct uit de tijdmeting de afstand. De zogenaamde reistijd, d.i. de tijd waarin de golven heen en weer reizen, heeft betrekking op 2 maal de afstand tot het doel. Is bijvoorbeeld het gemeten tijdsverloop gelijk aan één (1) micro-seconde, dan is de totaal afgelegde afstand van de elektromagnetische golf 300 meter. De afstand tot het doel is dan gelijk aan 150 meter.

2.3 Het bepalen van de positie van een doel.

Azimuth.

Onder het azimuth wordt verstaan de hoek die de tijdbasis van de radar in het horizontale vlak maakt met het ware noorden, rechtsom positief. Het azimuth geeft de richting van het doel aan.

Elevatie.

De elevatie is de hoek, die de tijdbasis maakt met het horizontale vlak. De elevatie geeft de hoogte van het doel aan.

Afstand (Range).

De afstand is te vinden uit de tijd, die verstrijkt tussen het uitzenden van de puls en het terugkeren ervan als "echo".

2.4 Bepaling van richting en snelheid van de bovenwind.

De radar biedt de mogelijkheid een ballon, voorzien van een inrichting, die de radargolven reflecteert, te volgen, zodat azimuth en elevatie kunnen worden afgelezen. Behalve deze twee hoeken kan ook de afstand van de radar tot de ballon worden gemeten.

Men bereikt een voldoende reflectie van de radar golven door onder de ballon een "radardoel" te bevestigen. Dit bestaat uit een samenstel van goed reflecterende vlakken (metaalfolie), zodanig aan elkaar bevestigd, dat er vier rechthoekige drievlakshoeken ontstaan.

2.5 Hoogtewind waarneming m.b.v. Selenia Radar.

Algemeen.

Met behulp van een radiosonde worden gegevens omtrent temperatuur, vochtigheid en luchtdruk uit de hogere luchtlagen verzameld.

De wind wordt indirect gemeten door de baan te volgen, die de ballon in de vrije atmosfeer aflegt. Dit gebeurt door peiling van een aan de ballon bevestigde reflector ("radardoel") met een automatisch volgende radar.

De hoogtewind waarnemingen van de radiosonde oplatingen in Cabauw t.b.v. Trivaan-experimenten zijn in De Bilt uitgevoerd met behulp van een Selenia radar.

Basis-gegevens.

Met intervallen van 1 minuut is op verschillende tijdstippen gemeten o.a. de tijd na het moment van oplating (in minuten), het azimuth (hoek met het ware noorden), de elevatie (hoek met het horizontale vlak) en de slant-range (schuine afstand tot de ballon).

De ground-range (horizontale afstand) of de projectie van de ballon op het aardoppervlak is berekend met een volgende formule: $\text{ground-range} = \text{slant-range} \times \cos \epsilon$.

Wordt nu de ground-range gedeeld door 60 dan krijgt men de plotafstand. De plotafstand is de afstand in 60-tallen meters. Bij een plotafstand nul (0) bevindt de ballon zich recht boven het oplatingpunt en bij een plotafstand 100 is de horizontale afstand 6 km.

Voor een compleet overzicht van de radarwaarnemingen zie voorbeeld formulier I "Aparte Hoogtewind Bewerking" Radar.

De windrichting en de windsnelheid zijn met behulp van een programmeerbare HP-25 elektronische rekenmachine berekend.

Zie voor programma overzicht: "HP-25 Program-Form" Radar.

APARTE HOOGTEWIND BEWERKING! "RADAR"

opstijging no: 3
station: Cabauw
datum: 26-09-'78
tijd: 09.16 UT.

dag, maand, jaar	: + 260978	<<=
tijd oplating(gmt)	: + 0916	<<=

START positie: Minuten Azimuth Afstand Elevatie
 0 228.90 22.60 0.10
 (Graden) (KM) (Graden)

minuten	azimuth	afstand	elevatie		hoogte	plotafst.	richting	snelheid
+ 1 31 61	+ 229.13	+ 22.12	+ 0.49	<<=				
+ 2 32 62	+ 228.79	+ 21.48	+ 1.10	<<=				
+ 3 33 63	+ 228.29	+ 21.03	+ 1.70	<<=				
+ 4 34 64	+ 227.40	+ 20.67	+ 2.28	<<=				
+ 5 35 65	+ 226.80	+ 19.99	+ 2.88	<<=				
+ 6 36 66	+ 226.24	+ 19.39	+ 3.54	<<=				
+ 7 37 67	+ 225.80	+ 18.94	+ 4.18	<<=				
+ 8 38 68	+ 224.91	+ 18.37	+ 4.85	<<=				
+ 9 39 69	+ 223.57	+ 17.72	+ 5.71	<<=				
+10 40 70	+ 221.91	+ 17.32	+ 6.99	<<=				
+11 41 71	+ .	+ .	+ .	<<=				
+12 42 72	+ .	+ etc	+ .	<<=				
+13 43 73	+ ↓ .	+ ↓ .	+ ↓ .	<<=				
+14 44 74	+ .	+ .	+ .	<<=				
+15 45 75	+ .	+ .	+ .	<<=				
+16 46 76	+ .	+ .	+ .	<<=				
+17 47 77	+ .	+ .	+ .	<<=				
+18 48 78	+ .	+ .	+ .	<<=				
+19 49 79	+ .	+ .	+ .	<<=				
+20 50 80	+ .	+ .	+ .	<<=				
+21 51 81	+ .	+ .	+ .	<<=				
+22 52 82	+ .	+ .	+ .	<<=				
+23 53 83	+ .	+ .	+ .	<<=				
+24 54 84	+ .	+ .	+ .	<<=				
+25 55 85	+ .	+ .	+ .	<<=				
+26 56 86	+ .	+ .	+ .	<<=				
+27 57 87	+ .	+ .	+ .	<<=				
+28 58 88	+ .	+ .	+ .	<<=				
+29 59 89	+ .	+ .	+ .	<<=				
+30 60 90	+ .	+ .	+ .	<<=				

+ 5 om tape feed

-						<<=
P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	

20 om tape feed
 CU 7^b-75

P₀ soort waarneming
 P₁ type sonde
 P₂ type radar
 P₃ type ballon
 P₄ reden beëindiging sonde
 P₅ reden beëindiging hoggtewind
 voor betekenis cijfers zie aparte tabel.

"RADAR"

HP-25 Program Form

Title Berekening Windsnelheid FF en Windrichting DD uit Azimuth
Elevatie
Slant-range
Switch to PRGM mode, press PRGM , then key in the program.

DISPLAY		KEY ENTRY	X	Y	Z	T	COMMENTS	REGISTERS
LINE	CODE							
00			Azimuth		1	invoeren	RUN	R 0
01	14	33 f REG						
02	15	32 g DEG						
03		31 ENTER						
04		74 R/S	Elevatie		1	invoeren	RUN	R 1
05	14	05 f cos						
06		74 R/S	Slant-range		1	invoeren	RUN	R 2
07		61 X						
08		06 6						
09		00 0						
10		71 :						R 3
11	14	09 f → R						
12		25 Σ+						
13		74 R/S	Azimuth		2	invoeren	RUN	R 4
14		31 ENTER						
15		74 R/S	Elevatie		2	invoeren	RUN	R 5
16	14	05 f cos						
17		74 R/S	Slant-range		2	invoeren	RUN	R 6
18		61 X						
19		06 6						
20		00 0						
21		71 :						R 7
22	14	09 f → R						
23	23	00 STO 0						
24		21 X ↔ Y						
25	23	01 STO 1						
26		21 X ↔ Y						
27	14	25 f Σ -						
28	24	04 RCL 4						
29	24	07 RCL 7						
30	15	09 g → P						
31		74 R/S	Levert Windsnelheid FF				RUN	
32		21 X ↔ Y						
33	15	51 gx > 0						
34	13	40 GTO 40						
35	15	41 gx < 0						
36		03 3						
37		06 6						
38		00 0						
39		51 +						
40		74 R/S	Levert Windrichting DD				RUN	
41	24	01 RCL 1						
42		31 ENTER						
43	24	00 RCL 0						
44	14	33 f REG						
45	13	12 GTO 12						
46								
47								
48								
49								



"RADAR" 1 minuut waarnemingen.



invoeren = getal in display
RUN = druk op R/S toets

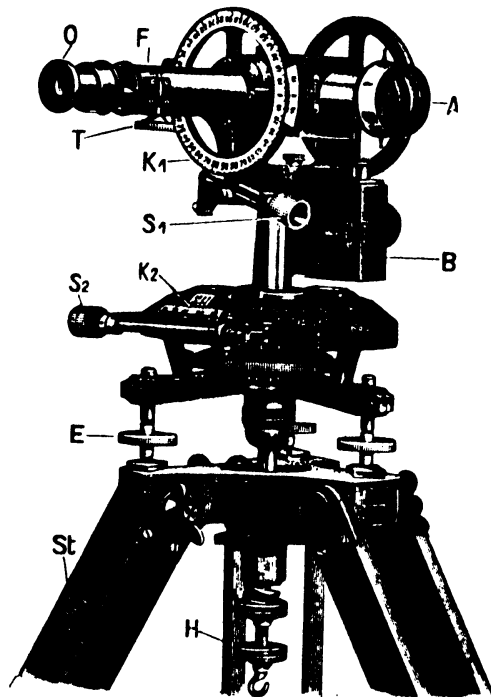
3. Theodoliet.

De theodoliet is een instrument voor het uitvoeren van hoekmetingen in het horizontale en verticale vlak.

Met dit instrument kunnen met behulp van de azimuth-, de elevatie-meting en de hoogte (deze is afkomstig uit de drukpunten van de radiosonde), de windrichting en de windsnelheid in een hoogte-interval bepaald worden.

Bij de trivaan-experimenten Cabauw is gebruik gemaakt van een optische ballontheodoliet van de firma Franz Schmidt & Haensch, Prinzessinnenstr. 6, Berlin S.W. 68 (bouwjaar 1939).

In fig. 1 kan men zien hoe deze optische ballontheodoliet er uit ziet.



- H = bevestigingsdraaistuk Theodoliet/statief
- St = driepotig statief
- E = drie stelschroeven
- S₁ = fijn afstelling elevatie
- S₂ = fijn afstelling azimuth
- K₁ = aflezing elevatie met nonius
- K₂ = aflezing azimuth met nonius
- B = lamp + batterij (3.5 Volt)
- T = scherp stelschroef Oculair
- O = Oculair (20x vergroting)
- A = Objectief

Figuur 1.

3.1 Opstellen en uitrichten van de theodoliet.

De theodoliet wordt op een driepotige statief geplaatst en door middel van de twee libellen waterpas opgesteld.

Deze twee libellen staan onder een hoek van 90° t.o.v. elkaar en bevinden zich op de theodoliet zelf.

Is de theodoliet waterpas opgesteld, dan wordt, afhankelijk van het zicht, het azimuth op $73,5^\circ$ (lantaarnpaal bij de ingang van de meetmast Cabauw) of 64° (T.V.-mast Lopik) uitgericht en vervolgens d.m.v. de aanwezige uitrichtmechanismen vastgemaakt.

Voor andere uitrichtingsmogelijkheden zie overzicht tekening fig. 2a. Men bedenke wel, dat bij keuze van uitrichtmogelijkheden d.m.v. dichtbij gelegen markeringspunten de afstand tussen het centrum van de mast en de plaats waar de theodoliet staat een rol gaat spelen.

Op de overzichtstekening fig. 2 van de meetmast Cabauw en directe omgeving ziet men de plaats van opstelling en de uitrichtingsmogelijkheden van het azimuth van de theodoliet.

3.2 Metingen

Met de optische ballon-theodoliet zijn met intervallen van een halve minuut de azimuth- en elevatie-hoeken waargenomen.

Uit de drukpunten van de radiosonde hebben we de beschikking over de hoogte gegevens.

Maakt men nu eerst een tijd, hoogte diagram, dan kan men de hoogten op de gewenste minuten aflezen. Zo krijgt men de beschikking over de bijbehorende hoogte gegevens.

Uit de hoogte en elevatie berekent men de plotafstand met de volgende formule:

$$\text{plotafstand} = \frac{\text{hoogte}}{30} * \cotg \epsilon$$

De plotafstand is de afstand in 30-tallen meters.

Bij een plotafstand nul (0) bevindt de ballon zich recht boven het oplatingspunt en bij een plotafstand 100 is de horizontale afstand 3 km.

Voor de berekening van de windsnelheid en de windrichting heeft men nu de keus uit twee programma's.

Men kan met behulp van een "Wang" programma of een HP-25 programma, uit azimuth, elevatie en hoogte, de windrichting en de windsnelheid berekenen.

Een programma overzicht van de Wang is hier niet opgenomen, daar het te lang was, maar voor de HP-25 programma zie:

"HP-25 Program Form" theodoliet.

Vervolgens worden de windrichtingen en de windsnelheden in grafiek uitgezet tegen de gemiddelde hoogte. Zo krijgt men een beeld van het windverloop met toenemende hoogte.

In de tabellen 10 t/m 19 eerste gedeelte ziet men in de eerste twee kolommen azimuth en elevatie staan zoals ze waargenomen zijn met de theodoliet en in de derde kolom de hoogte zoals deze berekent is uit de drukpunten van de radiosonde.

"THEODOLIET"

HP-25 Program Form

Title Berekening Windsnelheid FF en Windrichting DD uit

Azimuth
 Elevatie
 Hoogte (H_{sonde})

Switch to PRGM mode, press PRGM, then key in the program.

DISPLAY		KEY ENTRY	X	Y	Z	T	COMMENTS	REGISTERS
LINE	CODE							
00			Azimuth	1	invoeren	RUN		R 0
01	14 33	f REG						
02	15 32	g DEG						
03	31	ENTER						
04	74	R/S	Elevatie	1	invoeren	RUN		R 1
05	14 06	f tan						
06	74	R/S	Hoogte	1	invoeren	RUN		R 2
07	21	X \leftrightarrow Y						
08	71	:						
09	06	6						
10	00	0						R 3
11	71	:						
12	14 09	f \rightarrow R						
13	25	Σ +						R 4
14	74	R/S	Azimuth	2	invoeren	RUN		
15	31	ENTER						
16	74	R/S	Elevatie	2	invoeren	RUN		R 5
17	14 06	f tan						
18	74	R/S	Hoogte	2	invoeren	RUN		R 6
19	21	X \leftrightarrow Y						
20	71	:						
21	06	6						R 7
22	00	0						
23	71	:						
24	14 09	f \rightarrow R						
25	23 00	STO 0						
26	21	X \leftrightarrow Y						
27	23 01	STO 1						
28	21	X \leftrightarrow Y						
29	14 25	f Σ -						
30	24 04	RCL 4						
31	24 07	RCL 7						
32	15 09	g \rightarrow P						
33	74	R/S	Levert Windsnelheid FF			RUN		
34	21	X \leftrightarrow Y						
35	15 51	gx \geq 0						
36	13 42	GTO 42						
37	15 41	gx < 0						
38	03	3						
39	06	6						
40	00	0						
41	51	+						
42	74	R/S	Levert Windrichting DD			RUN	Na deze laatste	
43	24 01	RCL 1					RUN is de machine	
44	31	ENTER					gereed om de vol-	
45	24 00	RCL 0					gende set α , ϵ en	
46	14 33	f REG					H in te voeren.	
47	13 13	GTO 13						
48								
49								

"THEODOLIET" 1 minuut waarnemingen



invoeren = getal in display

RUN = druk op R/S toets

4. Hoogte berekening.

De hoogte is te bepalen uit de radiosonde gegevens en onafhankelijk hiervan uit de radar gegevens.

4.1 Radiosonde

De hoogte volgt uit de integratie van de statische grondvergelijking:

$$g \, dz = - R \, T_v \frac{dp}{p} \quad (1.1)$$

of

$$\int_{z_1}^{z_2} g \, dz = R \, \bar{T}_v \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (1.2)$$

g = versnelling van de zwaartekracht (ms^{-2})

Z = hoogte (m)

T_v = absolute virtuele temperatuur (K)

\bar{T}_v = gemiddelde van T_v tussen twee karakteristieke niveaus

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

P = luchtdruk (mbar)

In de meteorologie wordt de hoogte-informatie niet verstrekt in geometrische meters, maar vervangen door de geopotentiaal expressie:

$$d \phi = g \, dz \quad (1.3)$$

Dit wordt gedaan om de gemeten of berekende hoogten c.q. hoogteverschillen voor verschillende geografische breedtes onderling vergelijkbaar te maken.

Onder geopotentiaal verstaat men:

De potentiële energie van een eenheidsmassapunt in het zwaartekrachtveld van de aarde.

Als eenheid van geopotentiaal is door de W.M.O. de geopotentiële meter ingevoerd.

Wordt g in $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ en Z in m gegeven, dan wordt de geopotentiaal uitgedrukt in geopotentiële meters.

$$H = \frac{1}{9.8} \int_{z=0}^z g \, dz \quad (1.4)$$

In de lagere niveaus van de atmosfeer op onze breedte is de hoogte in geometrische meters numeriek praktisch gelijk aan de geopotential in geopotentiële meters.

De geopotential in karakteristiek punt n kan uitgerekend worden door (1.4) te integreren in alle lagen tussen de karakteristieke punten en te sommeren:

$$H(n)_{\text{sonde}} = \frac{1}{9.8} \sum_{i=0}^{n-1} R (\bar{T}_v)_{z_i, z_{i+1}} \ln \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad (1.5)$$

Voor uitgebreide behandeling plus uitwerking zie H.M. de Jong (1973, WR 73-3).

Met de gemeten waarden P_i , T_i en U_i ($i=0,1,\dots,n$) in de karakteristieke punten, wordt de H_{sonde} berekend.

In de praktijk wordt gebruik gemaakt van een bestaand Burroughs computer-programma, welke bij invoer van de serie gemeten waarden P_i, T_i en U_i de geopotential (H_{sonde}) uitrekent in gpm.

4.2 Radar.

De hoogte uit de radarwaarnemingen wordt op de volgende manier berekend. Beschouw fig. 3.

Het radarplatform bevindt zich op het dak van het KNMI gebouw, nieuwe vleugel, op een hoogte h'' boven het terrein.

h' is het verschil in terreinhoogte tussen De Bilt en Cabauw boven gemiddeld zeeniveau.

Uit de cos-regel in $\Delta O'MB$ volgt:

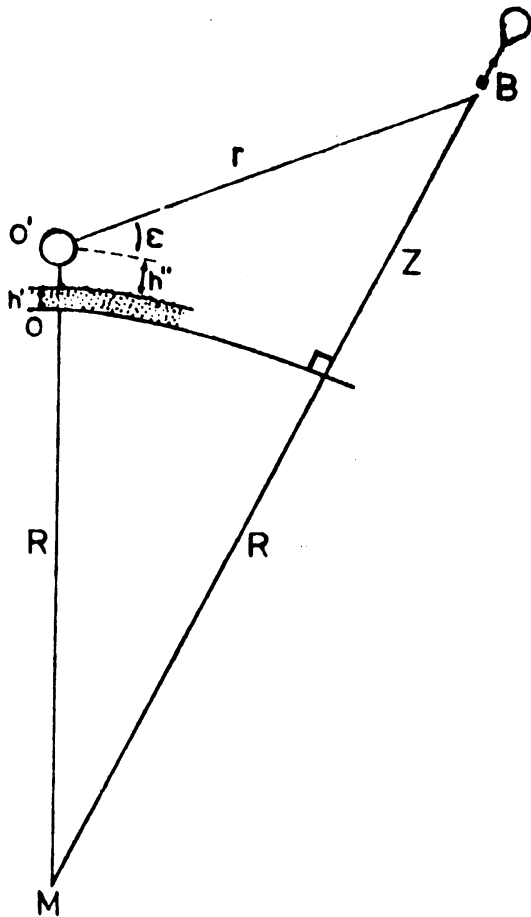
$$Z = (r^2 + R'^2 + 2rR' \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}} - R \quad (1.6)$$

waarin $R' = R + h' + h''$ (1.7)

Een goede benadering is evenwel:

$$Z = (r^2 + R^2 + 2rR \sin \epsilon)^{\frac{1}{2}} - R + h' + h'' - h''' \quad (1.8)$$

Strikt genomen is R de kromtestraal in het waarnemingspunt.



- R = gemiddelde aardstraal = 6371299,315 m
- r = slant-range
- h' = verschil in terreinhoogte tussen De Bilt en Cabauw is ~ 3 m
- h'' = hoogte Selenia radar op dak KNMI is ~ 20 m
- h''' = verschil in hoogte tussen het radardoel en de radio-sonde is ~ 5 m.

Figuur 3

Om bij deze geometrische hoogte Z de geopotentiaal H te berekenen, is het noodzakelijk (1.4) uit te rekenen.

Daartoe is het noodzakelijk het verloop van g te kennen als functie van de hoogte en de geografische breedte, zie H.M. de Jong 1973, WR 73-3.

Bij de berekeningen is gebleken dat $|Z_{(m)} - H_{(gpm)}| < 2$ m tot een hoogte van 3000 m.

Men kan dus stellen dat we hier met een verwaarloosbaar verschil te maken hebben tussen meters en gpm.

5. Hoogtewindberekening.

Stel dat we over een hypothetische waarnemer beschikken die zich op elk tijdstip op de grond loodrecht onder de ballon bevindt.

Als we nu op de halve- en hele minuten de positie van deze hypothetische waarnemer op de grond zouden bepalen, dan zouden we de horizontale afstand tussen de opeenvolgende posities kunnen opmeten. De verplaatsing in meters gedeeld door de benodigde tijd in seconden (in dit geval dus 30 of 60) zou dan de gemiddelde snelheid in ms^{-1} aangeven van het halve- of hele minuut interval.

De snelheid van de waarnemer zoals deze bewogen zou zijn over de grond, is gelijk aan de windsnelheid op de gemiddelde hoogte van de ballon waarover deze in de vrije atmosfeer is gestegen.

We beschikken niet over zo'n hypothetische waarnemer, dus doen we het op de volgende manier:

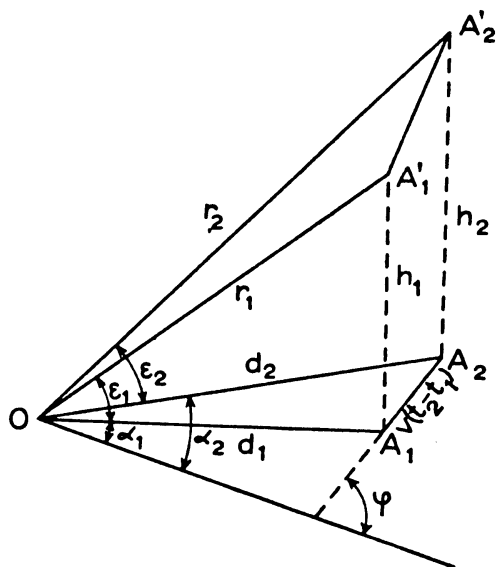
Met de theodoliet kunnen we meten: Het azimuth en de elevatie. De radiosonde levert de hoogte gegevens uit zijn drukpunten.

Met de radar hebben we gemeten: het azimuth, de elevatie en de slant-range.

Uit deze gegevens hebben we nu de windrichting en de windsnelheid berekend.

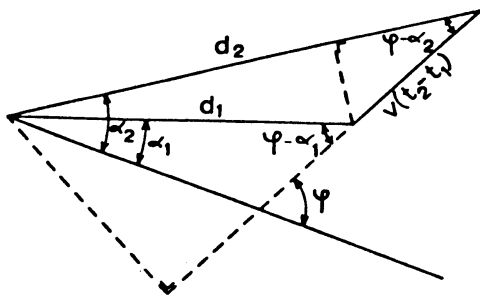
Stel dat op het tijdstip t_1 de ballon zich in het punt A'_1 bevindt en op het tijdstip t_2 in A'_2 (zie figuur 4).

A_1 en A_2 zijn de horizontale projecties van A'_1 en A'_2 op het horizontale vlak door het observatiepunt 0.



Figuur 4

r_1 en r_2 zijn de slant-ranges, α_1 en α_2 de azimuth-waarden.
 h_1 en h_2 zijn de ballonhoogten.
 t_1 en $t_2 = t_1 + \tau$ zijn de waarnemingstijdstippen. τ is het tijds-
interval tussen twee opeenvolgende metingen.
 $\phi = DD$ is de windrichting.
 $v = FF$ is de windsnelheid.



Figuur 5

In het horizontale vlak geldt: zie fig. 5

$$\text{Cosinus regel: } v^2 (t_2 - t_1)^2 = d_2^2 - 2 d_1 d_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (1.13)$$

$$\text{Sinus regel : } d_2 \sin (\phi - \alpha_2) = d_1 \sin (\phi - \alpha_1) \quad (1.14)$$

Zoals gesteld beschikken we bij de theodolietwaarneming over het azimuth, de elevatie en de hoogte gegevens m.a.w.:

$$d_{(\text{theodoliet})} = h * \cotg \epsilon \quad (1.15)$$

en bij de radar:

$$d_{(\text{radar})} = r * \cos \epsilon \quad (1.16)$$

Uit de gemeten α_1 en α_2 en t en de berekende d_1 en d_2 waarden kunnen we gebruik makend van de uitdrukkingen (1.13) en (1.14) de windsnelheid ($v = FF$) en de windrichting ($\phi = DD$) berekenen.

5.1 Praktisch bruikbare formule voor de hoogtewind berekening.

Stel op tijdstip t_0 zijn gemeten r_0 , ϵ_0 en α_0 en op tijdstip t_1 zijn gemeten r_1 , ϵ_1 en α_1 .

Radar:

$$\overline{DD} = \arctg \left(\frac{r_1 \cos \epsilon_1 \sin \alpha_1 - r_0 \cos \epsilon_0 \sin \alpha_0}{r_1 \cos \epsilon_1 \cos \alpha_1 - r_0 \cos \epsilon_0 \cos \alpha_0} \right) \pm n 180^\circ$$

$$\overline{FF} = \left[(r_1 \cos \epsilon_1 \sin \alpha_1 - r_0 \cos \epsilon_0 \sin \alpha_0)^2 + (r_1 \cos \epsilon_1 \cos \alpha_1 - r_0 \cos \epsilon_0 \cos \alpha_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} * \frac{1}{t_1 - t_0}$$

Theodoliet:

$$\overline{DD} = \arctg \left(\frac{h_1 \cotg \epsilon_1 \sin \alpha_1 - h_0 \cotg \epsilon_0 \sin \alpha_0}{h_1 \cotg \epsilon_1 \cos \alpha_1 - h_0 \cotg \epsilon_0 \cos \alpha_0} \right) \pm n 180^\circ$$

$$\overline{FF} = \left[(h_1 \cotg \epsilon_1 \sin \alpha_1 - h_0 \cotg \epsilon_0 \sin \alpha_0)^2 + (h_1 \cotg \epsilon_1 \cos \alpha_1 - h_0 \cotg \epsilon_0 \cos \alpha_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} * \frac{1}{t_1 - t_0}$$

De windrichting is de richting waaruit de wind komt. Deze wordt opgegeven ten opzichte van het ware noorden. Voor wind uit het noorden, oosten, zuiden of westen wordt de richting opgegeven als resp. 360, 090, 180 of 270 graden.

Met de radar meet men op twee opeenvolgende minuten t_1 en t_2 twee azimuth α_1 en α_2 waarden. Rechtsom draaiend levert dit indien $\alpha_2 - \alpha_1 > 0$ een positief getal op. Linksomdraaiend een negatief getal. Bij de berekening van de windrichting moet er rekening mee worden gehouden dat er een correctie van $\pm n$ 180 graden optreedt ($n = 0$ of 2), afhankelijk van het kwadrant waarin men zit te rekenen.

In de praktijk worden de eerste waarden van de windrichting altijd vergeleken met de mast gegevens.

Bij de theodoliet waarnemingen is iets dergelijks aan de hand met een extra complicatie, dat je nu de aflezing d.m.v. twee azimuth afleesvenstertjes kunt doen.

De waarden van deze venstertjes verschillen 180° van elkaar.

Bij de verwerking van de azimuth gegevens van de theodoliet is het zeker raadzaam de invoergegevens goed in de gaten te houden.

6. Meetgegevens.

In Tabel I ziet men de data en tijden van de radiosondes die op het terrein bij de meetmast Cabauw zijn opgelaten.

De coördinaten van de meetmast Cabauw zijn $51^\circ 58' 18''$ N.B. en $04^\circ 55' 37''$ O.L.

Bij dit experiment zijn radiosondes van de firma VIZ Manufacturing Company, Philadelphia, Penna., U.S.A. radiosonde model 1207-401 gebruikt.

Op zeven dagen zijn in totaal negen radiosondes zowel met de Selenia radar vanuit De Bilt als met de optische ballontheodoliet vanuit Cabauw gepeild.

Tabel I

Datum	Tijdstip oplating in U.T.
12-09-1978	13.14
25-09-1978	14.45
26-09-1978	06.55
idem	08.21
idem	09.16
04-10-1978	15.28
11-10-1978	14.48
06-12-1978	13.49
07-12-1978	13.40

6.2 Vergelijking hoogte H_{sonde} in gpm versus hoogte Z_{radar} in m.

In de tabellen 1 t/m 9 zijn de berekende hoogten van de radiosondes zoals waargenomen door de drukpunten van de radiosonde zelf en uit waarnemingen van de radar, verzameld.

In de grafieken 1 t/m 9 zijn deze gegevens uitgezet.

In Tabel II is een overzicht opgenomen van het gemiddelde hoogteverschil per radiosonde oplating met de bijbehorende standaardafwijking.

In een aantal gevallen is de radarklok niet precies gestart op het tijdstip van oplating maar enkele seconden eerder of later.

Om de hoogte van de sonde zoals bepaald uit de druk en uit de radarwaarneming nu toch op gelijke tijdstippen te vergelijken, moet de laatste gecorrigeerd worden met een bedrag: $-W_{\text{stijg.}} \cdot \Delta t$, waarin $\Delta t = \text{tijdstip start radarklok} - \text{tijdstip oplating}$.

Deze correctie is in de laatste kolom van tabel II aangegeven. Hier-voor zijn de hoogte-gegevens al gecorrigeerd.

De gebruikte symbolen zijn als volgt gedefinieerd:

$$\Delta H_i = H_{\text{sonde}} - Z_{\text{radar}} \quad (\text{Hoogte radiosonde} - \text{Hoogte radar})$$

$$\overline{\Delta H} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta H_i \quad (\text{gemiddelde hoogteverschil per sonde})$$

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (\text{Standaardafwijking van het hoogteverschil per sonde}) \quad (x = \Delta H)$$

N = totaal aantal hoogteverschillen per oplating

Tabel II

Datum	Tijdstip oplating in U.T.	$\overline{\Delta H}$	σ	N	Correctie voor niet gelijktijdig starten	
					Δt	hoogte correc- tie op ΔH
12-09-1978	13.14	32	15	12		
25-09-1978	14.45	97	33	9	+5 sec.	-20 m
26-09-1978	06.55	75	39	11		
idem	08.21	7	21	13		
idem	09.16	9	19	13	+3 sec.	-10 m
04-10-1978	15.28	7	23	12		
11-10-1978	14.48	-18	41	16	+12 sec.	-30 m
06-12-1978	13.49	2	26	21	-7 sec.	+15 m
07-12-1978	13.40	17	28	14		

Conclusie I:

Het is gebleken dat de startklok van vier van de negen radiosonde oplatingen niet gelijk gestart zijn. Het niet gelijktijdig starten van de startklokken maakt het noodzakelijk dat een hoogte correctie moet worden toegepast.

Per radiosonde oplating zijn de hoogte gegevens tot een hoogte van ongeveer 2800 m, vergeleken. Het totaal aantal vergeleken punten per sonde is derhalve niet groot. Radar-waarnemingen zijn natuurlijk tot veel grotere hoogte mogelijk.

De eerste drie sondes vertonen een systematische fout. De hoogte van de sonde is systematisch groter dan de hoogte van de radar van deze drie sondes. Tot een hoogte van 2500 m gaat de vergelijking redelijk op, daarna vertoont de hoogte van de radar een grotere toename dan de hoogte van de sonde.

De hoogte van het laagste punt waar beide waarnemingen aanwezig zijn ligt rond de 500 m.

De onnauwkeurigheid van de elevatie-meting met de radar is ~ 0.1 graad. Op een afstand van ca. 25 km komt dit overeen met een onnauwkeurigheid in de hoogte van ± 40 m. Dit is in overeenstemming met de standaarddeviatie in tabel II.

In het algemeen kan de conclusie getrokken worden dat de hoogte waarnemingen verricht door de sonde en de radar, binnen de grenzen van de fout van het totale meetsysteem, met elkaar in overeenstemming zijn.

6.3 Vergelijking hoogtewind gegevens:

In de tabellen 10 t/m 18 zijn de berekende hoogtewind gegevens verzameld. De grafieken 10 t/m 18 geven een beeld van deze verzamelde gegevens.

In tabel III is een overzicht opgenomen van het gemiddelde windsnelheidsverschil met hun standaard-afwijkingen, het totaal aantal vergeleken waarnemingen en de laagste hoogte waarop de radar de sonde heeft gevangen.

De hoogtewind van de sonde zoals bepaald door de theodoliet en uit de radarwaarnemingen zijn op gelijke tijdstippen vergeleken.

De gebruikte symbolen zijn als volgt gedefinieerd:

$$\Delta FF_i = FF_{\text{theodoliet}} - FF_{\text{radar}}$$

(Windsnelheid theodoliet - Windsnelheid radar)

$$\overline{\Delta FF} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta FF_i \quad (\text{gemiddelde windsnelheidsverschil per sonde})$$

$$\Delta DD_i = DD_{\text{theodoliet}} - DD_{\text{radar}}$$

(Windrichting theodoliet - Windrichting radar)

$$\overline{\Delta DD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta DD_i \quad (\text{gemiddelde windrichtingsverschil per sonde})$$

N = totaal aantal vergeleken punten

A = laagste hoogte waarop radar de sonde gevangen heeft.

Tabel III

Datum	Tijdstip oplatting in U.T.	$\overline{\Delta FF}$ (ms^{-1})	$\sigma(\Delta FF)$	$\overline{\Delta DD}$ (graden)	$\sigma(\Delta DD)$	N	A (m)
12-09-1978	13.14	0.2	1.2	5.9	1.7	5	961
25-09-1978	14.45	0.6	1.2	4.7	5.8	10	700
26-09-1978	06.55	0.8	1.8	1.0	3.9	9	319
idem	08.21	0.3	1.5	3.5	4.4	13	359
idem	09.16	-0.2	1.7	2.3	7.5	8	236
04-10-1978	15.28	0.3	0.6	7.0	1.5	8	414
11-10-1978	14.48	0.1	1.2	4.2	4.3	21	493
06-12-1978	13.49	-0.1	1.8	-2.4	6.2	22	583
07-12-1978	13.40	-0.3	0.6	-3.9	7.5	8	476

Nauwkeurighedsbeschouwing.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de hoogtewind hangt af van de bepaling van hoogte (slant-range), azimuth en elevatie. Zeker als de sonde op grote afstand is, speelt dit een rol. (Bij de radar beginnen we al op een afstand van ca. 25 km.)

Azimuth en elevatie van de Selenia radar zijn op ± 0.1 graad nauwkeurig. We nemen de slant-range als precies aan.

We moeten dus om elke door de radar waargenomen positie van de sonde een cirkel trekken, in een vlak loodrecht op de antenne-richting, met straal overeenkomend met 0.1 graad. De resulterende onnauwkeurigheid in de windgegevens hangt dus af van de relatieve bewegingsrichting van de sonde t.o.v. de radar. Als de sonde dwars op de antenne-richting beweegt moet rekening worden gehouden met een onnauwkeurigheid in de snelheid van ca. 1 m/s (op een afstand van 25 km). De onnauwkeurigheid in de bepaling van de windrichting is ± 5 graden (ook afhankelijk van omstandigheden). De onnauwkeurigheid van de theodoliet-metingen is moeilijk vooraf te schatten. Deze hangt van veel factoren af, o.a. van de nauwkeurigheid van de waarnemer. Gezien de tabel lijkt een gemiddelde schatting van een fout van ± 1.5 m/s in FF en 5 graden in DD aanwezig.

Conclusie II:

De laagste hoogte waarop de radar de sonde gevangen heeft, ligt rond de 500 m, hetgeen overeenkomt met de waarneming verricht op de tweede minuut na start van de oplating.

Een groot nadeel bij de vergelijking van de waarnemingen is het gering aantal vergeleken punten.

Zowel de windsnelheid als de windrichting zoals bepaald door de theodoliet en de radar zijn binnen de grenzen van de fout van het totale meet-systeem, met elkaar in overeenstemming.

Conclusie III en aanbevelingen:

Uit de vergelijking van de hoogte- en de hoogtewind waarnemingen, zoals bepaald met de Radiosonde/Theodoliet en Radiosonde/Radar, is een beeld ontstaan dat deze beide combinaties vrij redelijke gegevens opleveren. Zowel de combinatie radiosonde/theodoliet als de combinatie radiosonde/radar is in de praktijk even goed bruikbaar.

Bij gecombineerd gebruik van deze beide systemen zou in het geval van bewolkt weer, waarbij waarneming met de theodoliet niet meer mogelijk is, de waarneming overgenomen kunnen worden door de radar.

Met andere woorden: De waarneming in de onderste niveaus zou verricht kunnen worden door de theodoliet en daar boven door de radar.

Een zwak punt blijft, het niet gelijktijdig starten van de beide startklokken (stopwatch).

Bij een stijgsnelheid van de radiosonde van $\pm 240 \text{ m min}^{-1}$ kan bij een 5 seconden verschil in starttijd een hoogte verschil van $\pm 20 \text{ m}$ ontstaan. Deze fout kan voorkomen worden door betere communicatie. Indien de theodoliet "man" rechtstreeks telefoon of intercom contact heeft met de radar "man", kunnen de radarklok en de stopwatch gelijk gestart worden.

Tijdens de oplating zou 1 à 2 keer de tijd geverifieerd kunnen worden. Dit kan indien er een telefoontoestel buiten de mast, bij de theodoliet "man" neergezet wordt. Hoogte, azimuth en elevatie metingen zullen dan wat de tijd waarneming betreft in ieder geval synchroon zijn.

Referenties:

1. Radartechniek, beginselen en toepassingen in de meteorologie.
KNMI Handleiding BV-11, 1978
2. Aerologie.
Standaarddictaat voor de opleiding tot Officier Meteorologie.
Kon. Luchtmacht, 1978.
3. Pilot balloon Observations.
Instrument Manual 60, Dept. of Transport, Meteorological
Division, Toronto, 1954.
4. Kölzer, 1929: Ein verbesserter Ballontheodoliet.
Zeitschrift für Instrumentenkunde, 49, 292-295.
5. de Jong, H.M., 1973: Automatisering van radiosonde/radar-
waarnemingen. KNMI W.R. 73-3
6. de Jong, H.M., 1964: Application of adjustment to double
theodolite observations.
J. Apl. Meteor. 3, 624-632.
7. de Jong, H.M., 1958: Errors in upper-level wind computations.
J. of Meteor., 15, 131-137.

TABEL 1

Datum 12-09-1978 Tijd 13.14 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	170	xxx
2	340	xxx
3	500	xxx
4	670	xxx
5	850	xxx
6	1010	961
7	1170	1106
8	1330	1300
9	1490	1472
10	1660	1631
11	1825	1802
12	1990	1959
13	2150	2141
14	2310	2298
15	2460	2426
16	2610	2561
17	2755	2725

TABEL 2

Datum 25-09-1978 Tijd 14.45 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	250	xxx
2	500	xxx
3	750	700
4	995	918
5	1230	1135
6	1470	1412
7	1710	1634
8	1945	1831
9	2180	2024
10	2420	2300
11	2660	2536

TABEL 3

Datum 26-09-1978 Tijd 06.55 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	180	xxx
2	345	319
3	530	499
4	715	672
5	925	xxx
6	1185	1179
7	1455	1364
8	1725	1614
9	1990	1874
10	2200	2098
11	2395	2314
12	2590	2483
13	2780	2671

TABEL 4

Datum 26-09-1978 Tijd 08.21 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	205	xxx
2	380	359
3	570	544
4	765	771
5	955	948
6	1150	1119
7	1340	1304
8	1535	1562
9	1730	1723
10	1920	1894
11	2115	2151
12	2315	2321
13	2510	2500
14	2700	2698

TABEL 5

Datum 26-09-1978 Tijd 09.16 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	230	236
2	460	457
3	670	667
4	890	864
5	1065	1044
6	1240	1235
7	1425	1417
8	1610	1587
9	1850	1795
10	2115	2139
11	2345	2351
12	2520	2498
13	2700	2708

TABEL 6

Datum 04-10-1978 Tijd 15.28 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	170	xxx
2	365	414
3	570	589
4	770	759
5	950	926
6	1100	1071
7	1240	1211
8	1380	1352
9	1520	1520
10	1670	1667
11	1815	1791
12	1980	1993
13	2160	2146

TABEL 7

Datum 11-10-1978 Tijd 14.48 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	160	xxx
2	330	xxx
3	490	493
4	630	653
5	765	794
6	895	873
7	1030	1000
8	1175	1169
9	1320	1317
10	1460	1470
11	1610	1608
12	1760	1737
13	1900	1881
14	2040	2088
15	2185	2223
16	2330	2360
17	2480	2576
18	2630	2749

TABEL 8

Datum 06-12-1978 Tijd 13.49 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	130	xxx
2	265	xxx
3	390	xxx
4	505	xxx
5	625	583
6	740	672
7	860	852
8	975	955
9	1080	1124
10	1190	1181
11	1300	1305
12	1420	1390
13	1530	1513
14	1635	1625
15	1745	1752
16	1845	1862
17	1950	1982
18	2055	2044
19	2155	2155
20	2255	2281
21	2355	2360
22	2455	2446
23	2555	2559
24	2645	2684
25	2745	2752

TABEL 9

Datum 07-12-1978 Tijd 13.40 UT.

<u>Minuten</u>	<u>Hoogte R.S.</u>	<u>Hoogte Radar</u>
1	225	xxx
2	440	476
3	630	674
4	830	827
5	1005	992
6	1185	1153
7	1375	1348
8	1560	1506
9	1745	1731
10	1930	1918
11	2110	2063
12	2285	2247
13	2460	2414
14	2630	2625
15	2805	2783

CABAUW
12-09-1978
13.14 UT.

- 29 -

TABEL 10

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PL.OTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	136.2	13.8	170	85	11,53	316,2	11,5	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	138.8	12,6	340	255	25,35	321,0	13,8	XXX	XXX	XXX	XXX
3.0	138.6	12,4	500	420	37,90	318,2	12,6	XXX	XXX	XXX	XXX
4.0	138.5	13,0	670	585	48,36	318,1	10,5	XXX	XXX	XXX	XXX
5.0	139.5	13,2	850	760	60,39	323,5	12,1	XXX	XXX	XXX	XXX
6.0	140.5	12,9	1010	930	73,49	325,1	13,1	961	XXX	320,0	12,7
7.0	141,9	12,2	1170	1090	90,19	328,0	16,8	1106	1034	319,9	14,9
8.0	141.7	12,0	1330	1250	104,28	320,4	14,1	1300	1203	314,5	15,4
9.0	140.1	11,9	1490	1410	117,84	308,0	13,9	1472	1386	304,3	14,4
10.0	138.7	11,8	1660	1575	132,43	307,6	14,9	1631	1552	300,9	14,2

CABAUW
25-09-1978
14.45 UT.

TABEL 11

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PL.OTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	125.7	22.6	250	125	10,00	305,7	10,0	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	127.7	22,7	500	375	19,92	309,7	9,9	XXX	XXX	XXX	XXX
3.0	126.9	22,4	750	625	30,32	305,4	10,4	700	XXX	XXX	XXX
4.0	127.0	21,9	995	872	41,25	307,3	10,9	918	809	301,6	11,3
5.0	125.9	21,0	1230	1112	53,40	302,2	12,2	1135	1027	291,8	12,3
6.0	123.8	20,2	1470	1350	66,58	295,4	13,4	1412	1274	288,7	13,8
7.0	117.2	18,8	1710	1590	83,71	273,7	19,2	1634	1523	277,3	17,2
8.0	112.6	17,4	1945	1827	103,44	274,0	21,1	1831	1733	266,6	19,6
9.0	109.5	16,3	2180	2062	124,25	274,6	21,7	2024	1928	266,0	22,4
10.0	106.9	15,2	2420	2300	148,45	273,9	25,0	2300	2162	272,3	22,3
11.0	104.6	14,5	2660	2540	171,42	270,1	23,8	2536	2418	262,6	23,5
12.0	103.1	14,0	2900	2780	193,85	271,8	22,9	2757	2644	262,1	21,8
13.0	101.5	13,8	3140	3020	213,06	265,8	20,0	3053	2903	272,5	20,3

CABAUW
26-09-1978
06.55 UT.

TABEL 12

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	47.3	26.1	180	90	6,12	227,3	6,1	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	53.9	24.2	345	262	12,79	239,9	6,7	319	XXX	XXX	XXX
3.0	57.8	24.2	530	437	19,65	245,0	6,9	499	409	243.8	5,7
4.0	60.6	24.3	715	622	26,39	248,7	6,8	672	586	250.9	5,3
5.0	64.7	25.5	925	820	32,32	262,2	6,3	XXX	XXX	XXX	XXX
6.0	67.2	26.1	1185	1055	40,31	257,2	8,1	1179	XXX	XXX	XXX
7.0	67.4	26.1	1455	1320	49,50	248,3	9,2	1364	1272	248.5	10,2
8.0	67.9	26.2	1725	1590	58,42	250,7	8,9	1614	1489	247.8	8,6
9.0	68.4	25.8	1990	1857	68,60	251,3	10,2	1874	1744	250.6	7,1
10.0	69.5	24.8	2200	2095	79,35	256,5	10,8	2098	1986	249.3	12,5
11.0	70.1	23.9	2395	2297	90,07	254,5	10,8	2314	2206	248.1	11,9
12.0	70.6	23.2	2590	2492	100,71	254,8	10,7	2483	2399	259.5	8,0
13.0	71.5	22.6	2780	2685	111,30	260,0	10,7	2671	2577	262.0	8,5

CABAUW
26-09-1978
08.21 UT.

TABEL 13

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	33.4	25.9	205	102	7.03	213,4	7,0	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	42.2	23.4	380	292	14.63	230,2	7,8	359	XXX	XXX	XXX
3.0	47.3	23,2	570	475	22,16	237,0	7,7	544	452	234,3	6,4
4.0	52.1	23,5	765	667	29,32	246,5	7,5	771	658	244,4	5,8
5.0	57.0	23,2	955	860	37,13	254,5	8,3	948	860	251,5	8,8
6.0	60.7	22,5	1150	1052	46,27	255,3	9,5	1119	1034	247,7	11,0
7.0	63.2	21,6	1340	1245	56,40	254,4	10,4	1304	1212	256,5	9,0
8.0	65.1	21,1	1535	1437	66,30	255,8	10,1	1562	1433	255,4	8,7
9.0	67.5	20,9	1730	1632	75,50	264,2	9,7	1723	1643	253,8	12,0
10.0	69.9	20,6	1920	1825	85,13	268,0	10,2	1894	1809	260,2	10,6
11.0	71.0	20,1	2115	2017	96,32	259,3	11,3	2151	2023	263,4	9,4
12.0	71.0	19,2	2315	2215	110,79	251,0	14,5	2321	2236	246,9	13,2
13.0	71.2	18,8	2510	2412	122,88	253,0	12,1	2500	2411	245,8	13,8
14.0	71.6	18,4	2700	2605	135,27	255,6	12,4	2698	2599	256,8	10,8
15.0	72.3	18,1	2885	2792	147,11	260,2	12,0	2872	2785	253,2	12,9

CABAUW
26-09-1978
09.16 UT.

- 31 -

TABEL 14

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	29.7	30.2	230	115	6.58	209.7	6.6	236	118	217.8	7.7
2.0	54.3	26.8	460	345	15.17	250.9	9.6	457	347	240.3	10.9
3.0	60.8	25.0	670	565	23.94	251.8	9.0	667	562	250.7	8.2
4.0	66.4	24.0	890	780	33.31	260.2	9.8	864	766	269.2	8.2
5.0	68.3	22.8	1065	977	42.22	255.4	9.0	1044	954	244.3	12.0
6.0	68.4	21.4	1240	1152	52.73	248.8	10.5	1235	1140	244.0	10.7
7.0	68.1	20.7	1425	1332	62.85	246.5	10.1	1417	1326	243.6	8.1
8.0	69.3	20.2	1610	1517	72.93	256.7	10.2	1587	1502	251.6	10.9

CABAUW
04-10-1978
15.28 UT.

TABEL 15

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	125.3	20.9	170	85	7.41	305.3	7.4	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	125.4	19.6	365	267	17.08	305.5	9.7	414	XXX	XXX	XXX
3.0	126.0	20.0	570	467	26.10	307.1	9.0	589	502	298.9	8.4
4.0	127.1	20.0	770	670	35.25	310.2	9.2	759	674	303.1	9.1
5.0	126.7	19.5	950	860	44.71	305.2	9.5	926	843	299.9	9.5
6.0	126.1	18.2	1100	1025	55.76	303.7	11.1	1071	999	295.4	10.2
7.0	126.1	17.4	1240	1170	65.94	306.1	10.2	1211	1141	296.9	10.4
8.0	126.0	16.7	1380	1310	76.66	305.4	10.7	1352	1282	300.4	11.3
9.0	126.0	16.0	1520	1450	88.34	306.0	11.7	1520	1436	299.3	11.5
10.0	126.2	15.4	1670	1595	101.04	307.6	12.7	1667	1594	301.7	11.6

C ABAUW
11-10-1978
14.48 UT.

TABEL 16

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFAST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	299.3	21.6	160	80	6,73	119,3	6,7	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	309.2	21.0	330	245	14,32	137,8	7,8	XXX	XXX	XXX	XXX
3.0	320.3	20.6	490	410	21,72	160,1	8,1	493	XXX	XXX	XXX
4.0	328.3	20.5	630	560	28,08	173,0	7,2	653	573	164.1	7.6
5.0	333.1	19.6	765	697	35,80	169,8	8,2	794	724	167.7	8.5
6.0	337.4	18.5	895	830	44,58	174,2	9,3	873	834	177.9	10.6
7.0	341.3	17.7	1030	962	53,79	179,3	9,8	1000	937	183.6	10.2
8.0	344.2	17.2	1175	1102	63,26	180,1	9,9	1169	1085	170.9	9.4
9.0	345.2	17.0	1320	1247	71,95	172,4	8,8	1317	1243	163.7	8.7
10.0	345.3	16.7	1460	1390	81,10	166,1	9,1	1470	1394	155.2	8.8
11.0	346.2	16.5	1610	1535	90,58	173,8	9,6	1608	1539	170.1	9.3
12.0	346.5	16.5	1760	1685	99,02	169,7	8,5	1737	1673	163.4	8.0
13.0	346.4	16.5	1900	1830	106,90	165,1	7,9	1881	1809	158.7	8.4
14.0	347.1	16.5	2040	1970	114,78	176,5	8,0	2088	1985	168.5	9.6
15.0	347.9	16.4	2185	2112	123,73	178,0	9,1	2223	2156	171.8	9.4
16.0	348.4	16.1	2330	2257	134,54	174,1	10,9	2360	2292	169.5	10.2
17.0	348.7	15.8	2480	2405	146,06	172,2	11,6	2576	2468	164.4	11.4
18.0	348.5	15.8	2630	2555	154,90	165,2	8,9	2749	2663	164.4	11.1
19.0	348.4	15.5	2790	2710	167,67	167,2	12,8	2905	2827	161.2	11.7
20.0	348.0	15.3	2940	2865	179,11	162,2	11,5	3019	2962	158.0	11.0
21.0	347.6	15.2	3100	3020	190,16	161,1	11,1	3160	3090	164.1	11.7
22.0	347.4	14.9	3260	3180	204,19	164,7	14,1	3271	3216	162.2	10.5
23.0	347.3	14.8	3400	3330	214,47	165,3	10,3	3400	3336	163.7	8.9
24.0	347.0	14.8	3530	3465	222,67	159,2	8,3	3532	3466	157.9	7.3

CABAUW
06-12-1978
13.49 UT.

- 33 -

TABEL 17

BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST.	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	275.7	11.6	130	65	10,55	95,7	10,6	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	283.3	10.8	265	197	23,15	109,6	12,8	XXX	XXX	XXX	XXX
3.0	295.0	9,3	390	327	39,69	130,4	17,7	XXX	XXX	XXX	XXX
4.0	303.6	8,8	505	447	54,36	145,0	16,2	XXX	XXX	XXX	XXX
5.0	306.1	8,6	625	565	68,87	135,4	14,8	583	XXX	140,6	15,6
6.0	306.2	8,6	740	682	81,55	126,7	12,7	672	628	133,5	13,7
7.0	305.2	8,5	860	800	95,90	119,5	14,4	852	762	126,0	14,2
8.0	304.3	8,4	975	917	110,04	118,2	14,2	955	904	128,4	13,3
9.0	304,4	8,2	1080	1027	124,91	125,1	14,9	1124	1040	124,7	13,7
10.0	304.5	8,3	1190	1135	135,95	125,6	11,0	1181	1153	120,8	13,6
11.0	304,6	8,4	1300	1245	146,72	125,9	10,8	1305	1243	118,3	11,3
12.0	304,8	8,5	1420	1360	158,35	127,3	11,6	1390	1348	130,8	11,4
13.0	304,6	8,6	1530	1475	168,61	121,5	10,3	1513	1452	130,3	10,0
14.0	304,5	8,7	1635	1582	178,07	122,7	9,5	1625	1569	123,3	10,6
15.0	304,2	8,9	1745	1690	185,72	117,2	7,7	1752	1689	114,4	11,4
16.0	303,7	8,9	1845	1795	196,36	115,0	10,8	1862	1807	115,9	9,5
17.0	303,2	8,9	1950	1897	207,54	114,5	11,3	1982	1922	125,9	8,8
18.0	303,0	9,0	2055	2002	216,24	118,2	8,7	2044	2013	120,0	8,8
19.0	302,8	9,0	2155	2105	226,76	118,7	10,6	2155	2100	112,9	11,5
20.0	302,4	9,0	2255	2205	237,29	113,8	10,6	2281	2218	114,0	10,6
21.0	302,1	9,0	2355	2305	247,81	115,4	10,6	2360	2321	118,6	7,8
22.0	301,4	9,0	2455	2405	258,33	105,4	11,0	2446	2403	110,3	9,5
23.0	301,1	9,1	2555	2505	265,85	110,9	7,6	2559	2503	103,9	12,0
24.0	300,9	9,1	2645	2600	275,22	115,2	9,4	2684	2622	113,9	9,1
25.0	300,5	9,2	2745	2695	282,46	105,7	7,5	2752	2718	122,4	7,5
26.0	300,2	9,2	2840	2792	292,24	111,6	9,9	2887	2820	112,3	8,7

CABAUW
07-12-1978
13.40 UT.

TABEL 18

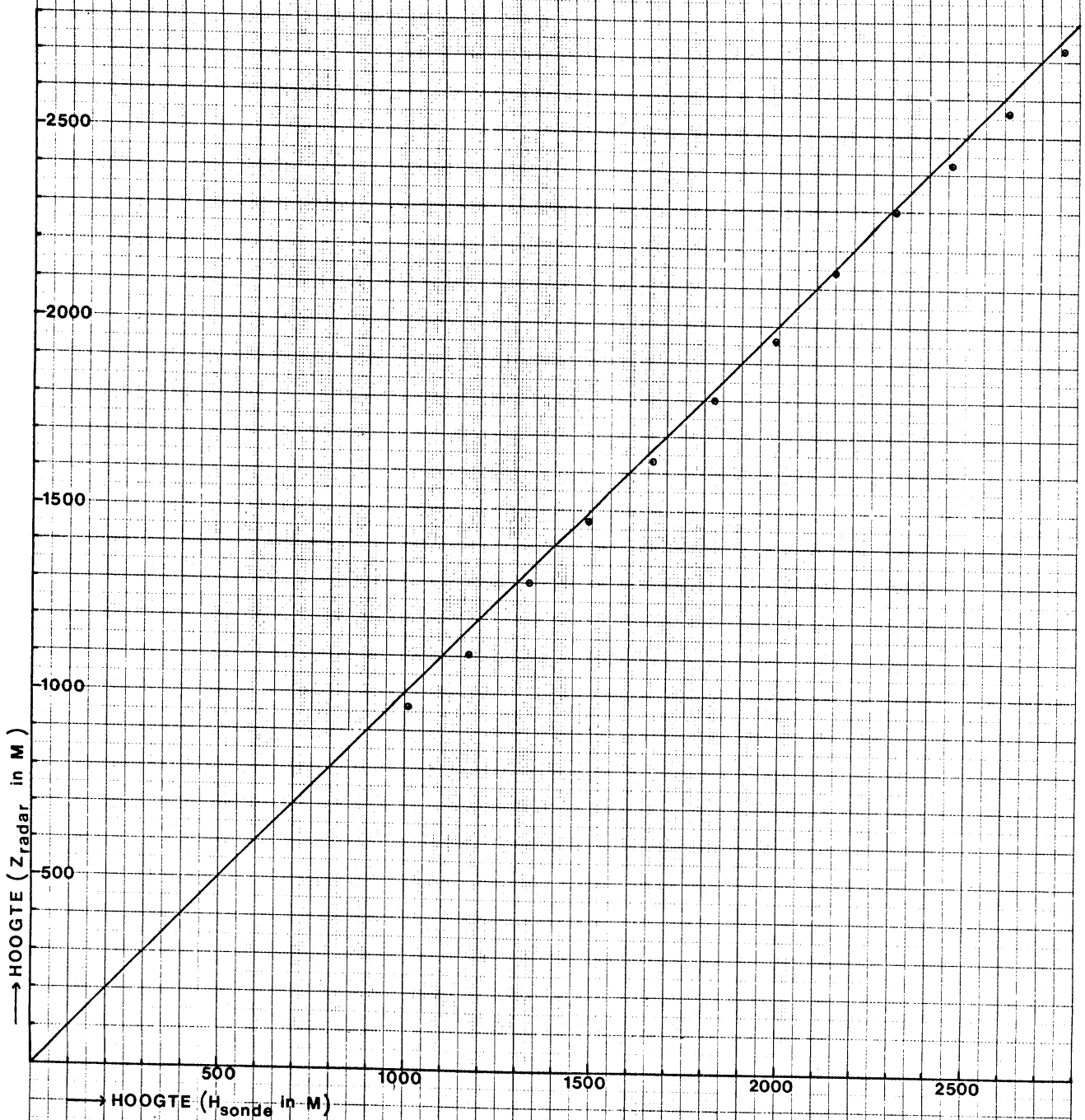
BEREKENING HOOGTEWINDEN "THEODOLIET"								"RADAR"			
MINUTEN	AZIMUTH (GRADEN)	ELEVATIE (GRADEN)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	PLOTAFST,	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)	HOOGTE (M)	GEM. HOOGTE (M)	RICHTING (GRADEN)	SNELHEID (M/S)
1.0	293,5	21,8	225	112	9,37	113,5	9,4	XXX	XXX	XXX	XXX
2.0	306,3	22,1	440	332	18,05	139,4	9,2	476	XXX	XXX	XXX
3.0	318,2	23,3	630	535	24,38	167,2	7,7	674	575	162,4	7,4
4.0	324,1	22,5	830	730	33,39	159,4	9,5	827	751	158,0	9,5
5.0	329,5	22,3	1005	917	40,84	172,0	8,2	992	910	174,3	8,6
6.0	332,1	22,1	1185	1095	48,63	165,4	8,1	1153	1073	166,5	8,8
7.0	333,0	22,3	1375	1280	55,87	159,0	7,3	1348	1251	160,2	6,6
8.0	334,7	23,2	1560	1467	60,66	173,7	5,1	1506	1427	184,8	5,8
9.0	335,1	24,4	1745	1652	64,11	162,1	3,5	1731	1619	180,8	4,3
10.0	334,2	24,4	1930	1837	70,91	145,8	6,9	1918	1825	148,7	8,0

CABAUW:

- 35 -

Datum : 12 SEP 1978

Tijd : 13.14 UT.



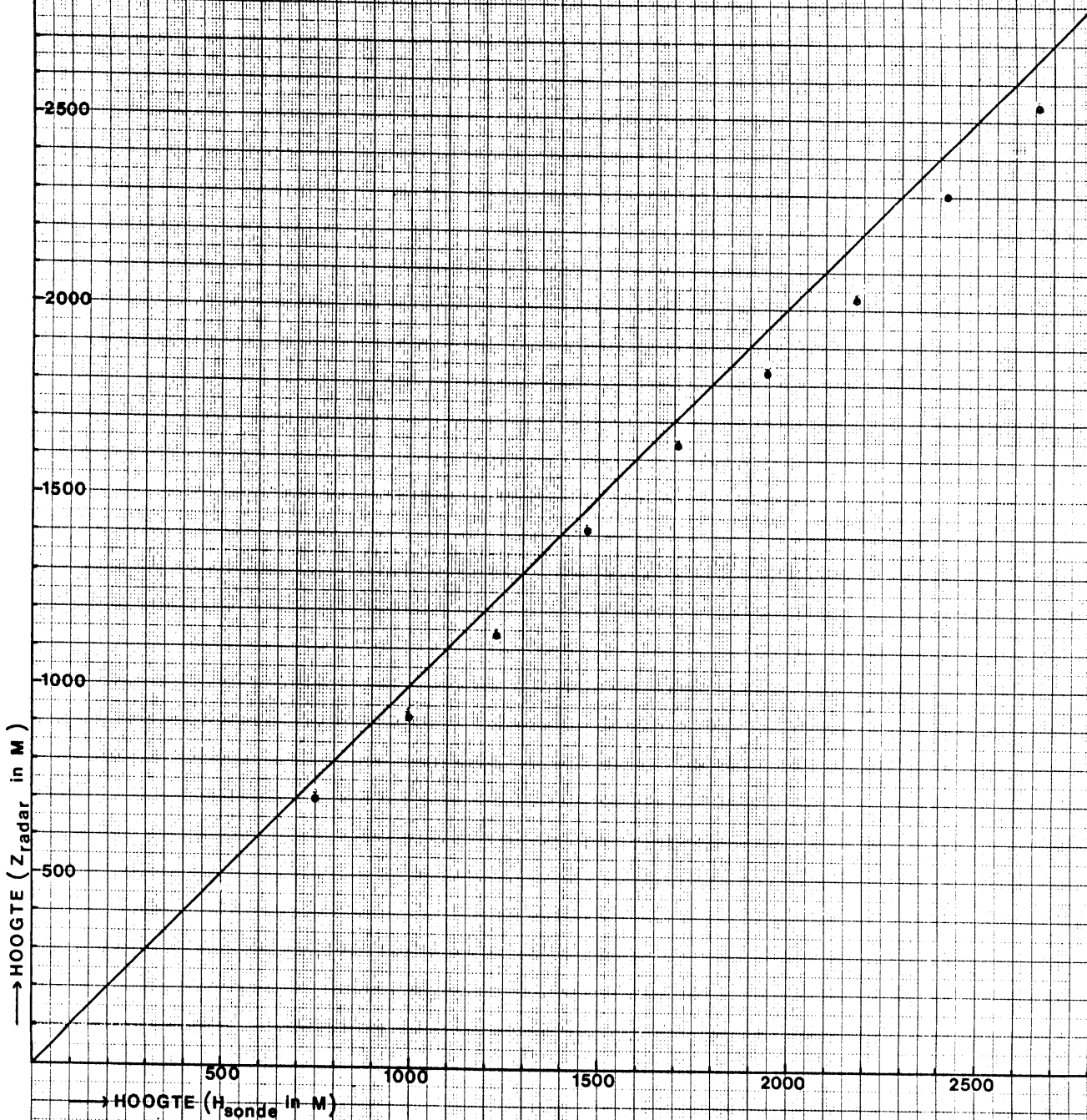
Grafiek 1

CABAUW

- 36 -

Datum 25 SEP 1978

Tijd 14,45 UT



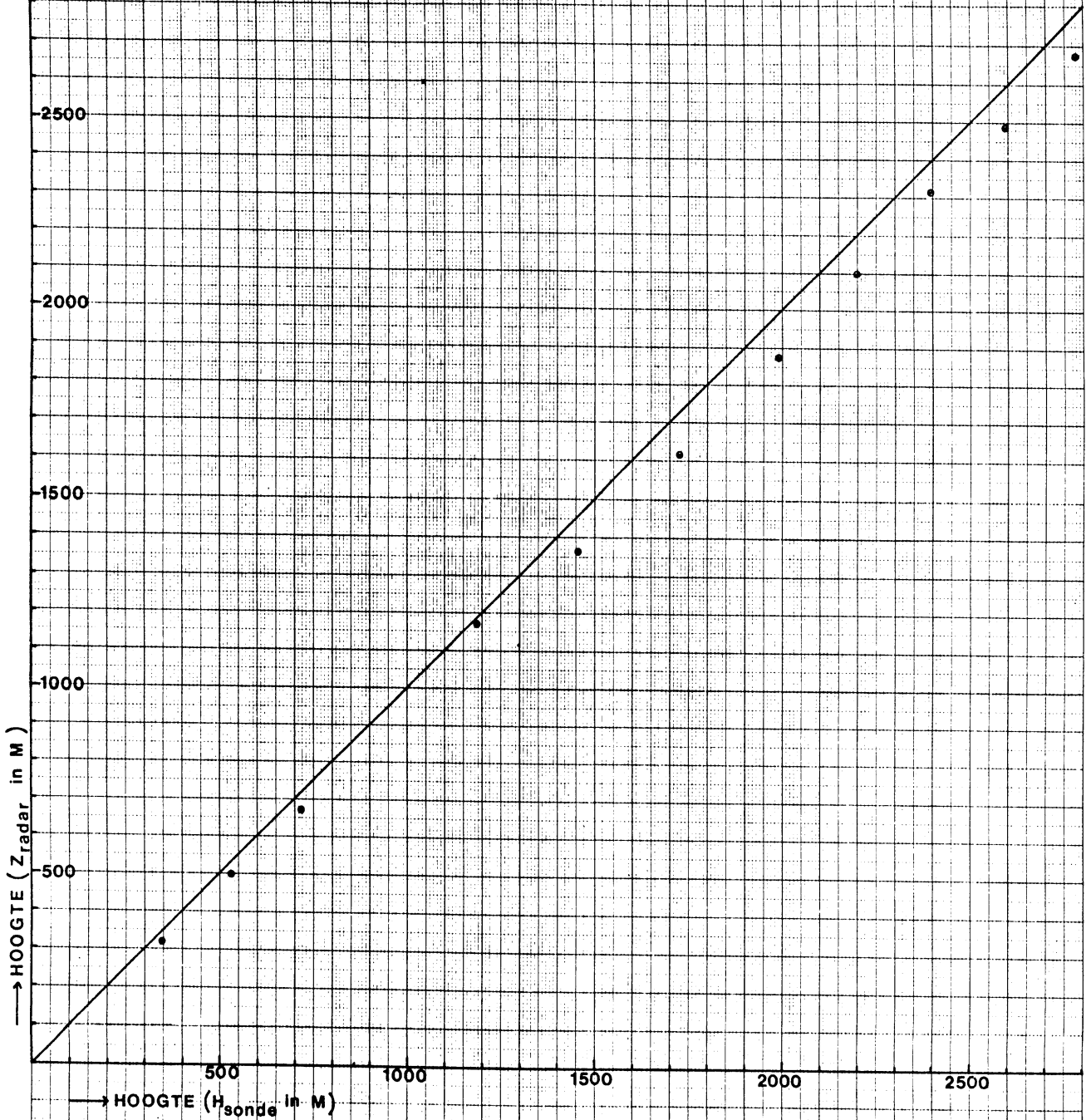
Grafiek 2

CABAUW

- 37 -

Datum : 26 SEP 1978

Tijd : 06.55 UT



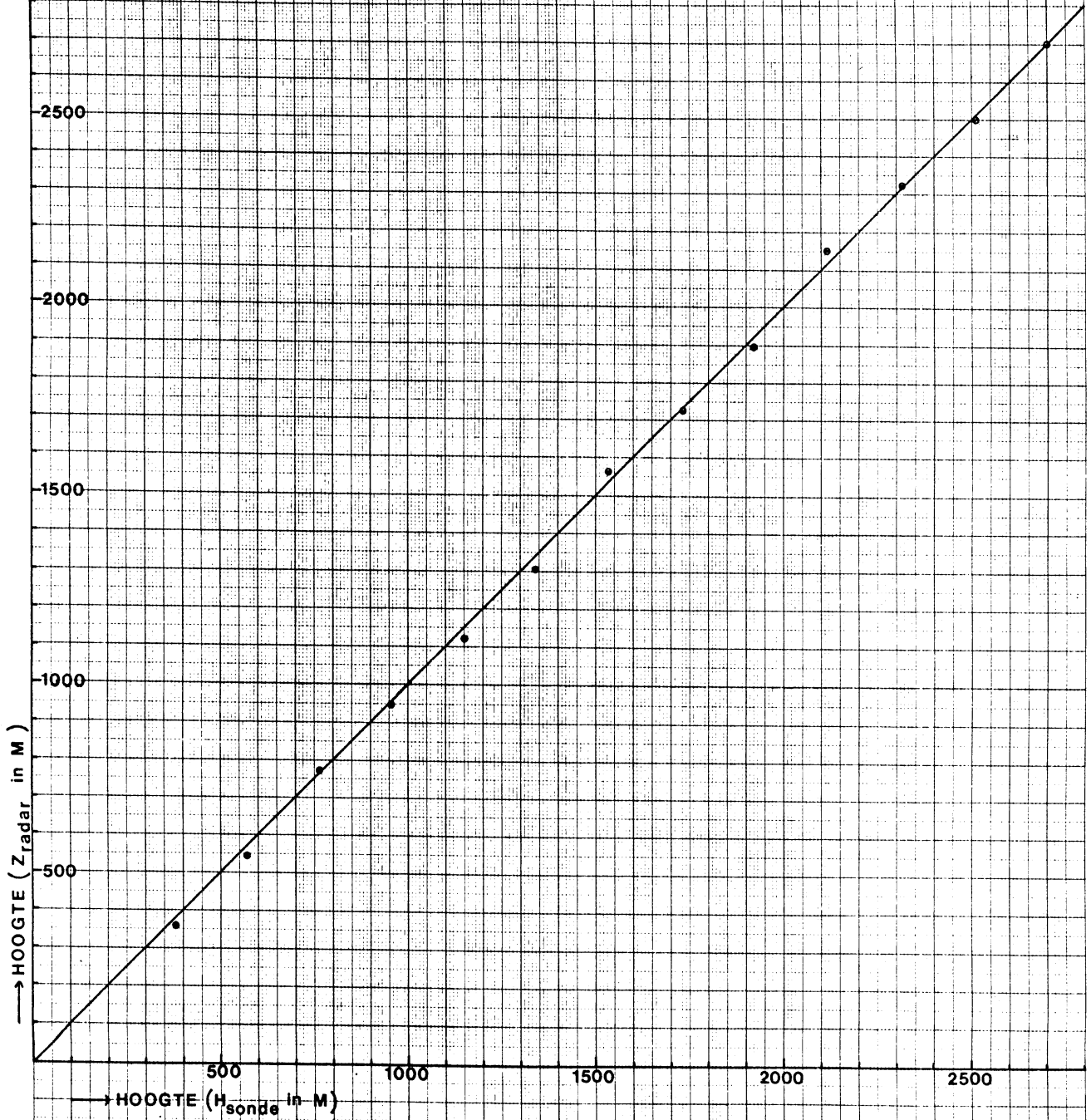
Grafiek 3

CABAUW

- 38 -

Datum : 26 SEP 1978

Tijd : 08.11 UT



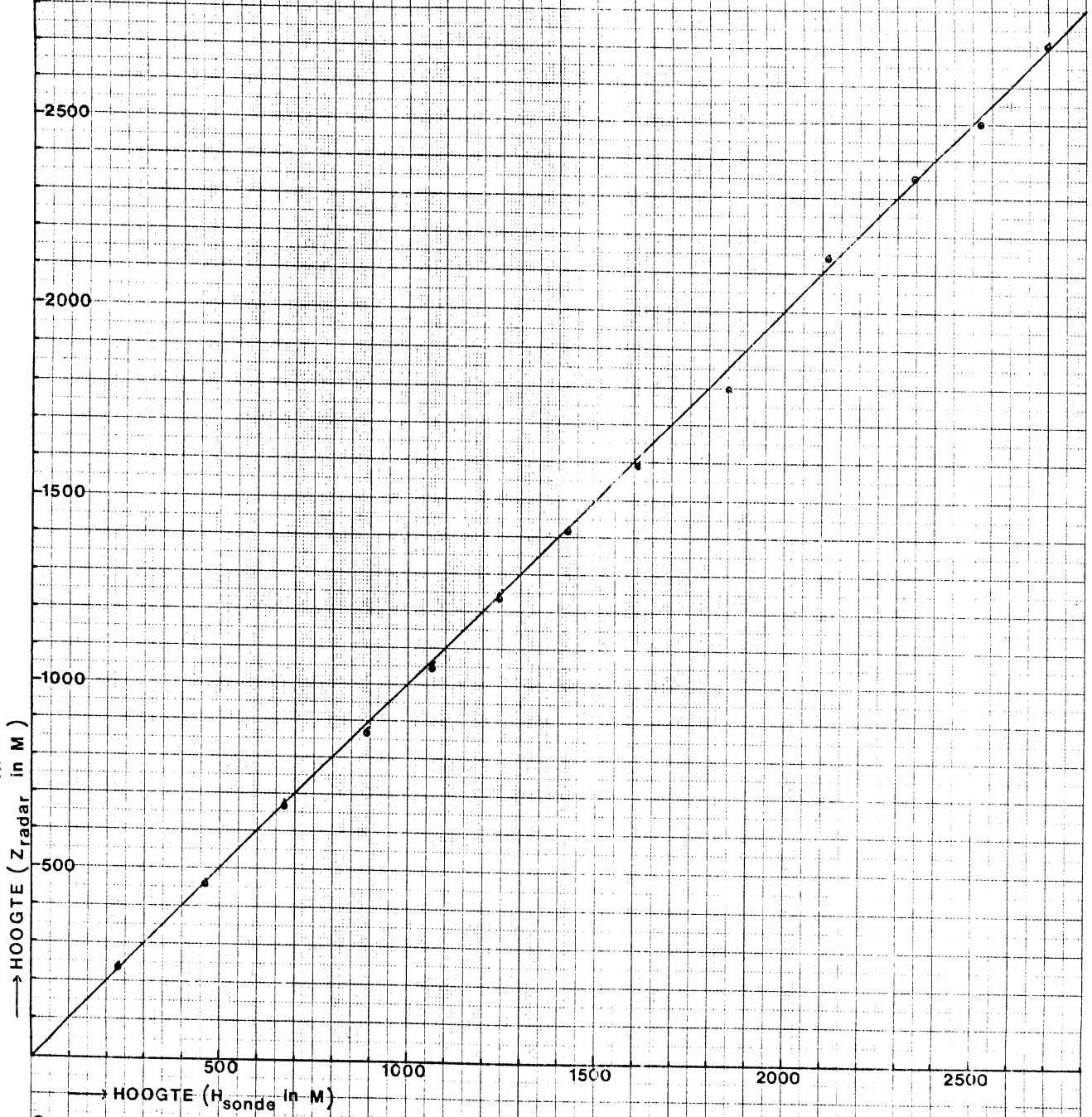
Grafiek 4

CABAUW:

- 39 -

Datum 26 SEP. 1978

Tijd 09.15 UT.



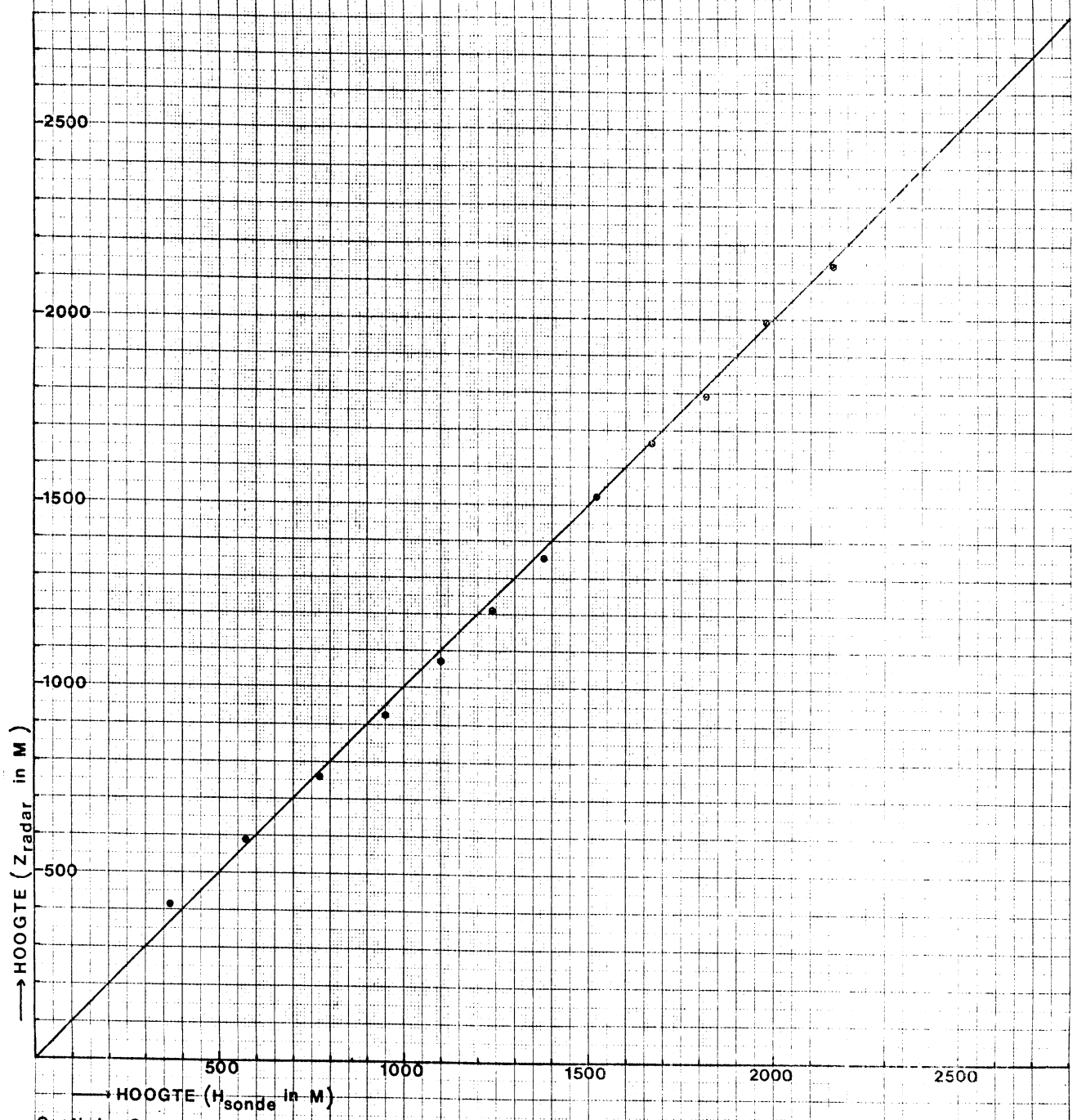
Grafiek 5

CABAUW:

-40-

Datum 04 OKT. 1978

Tijd 15.28 UT



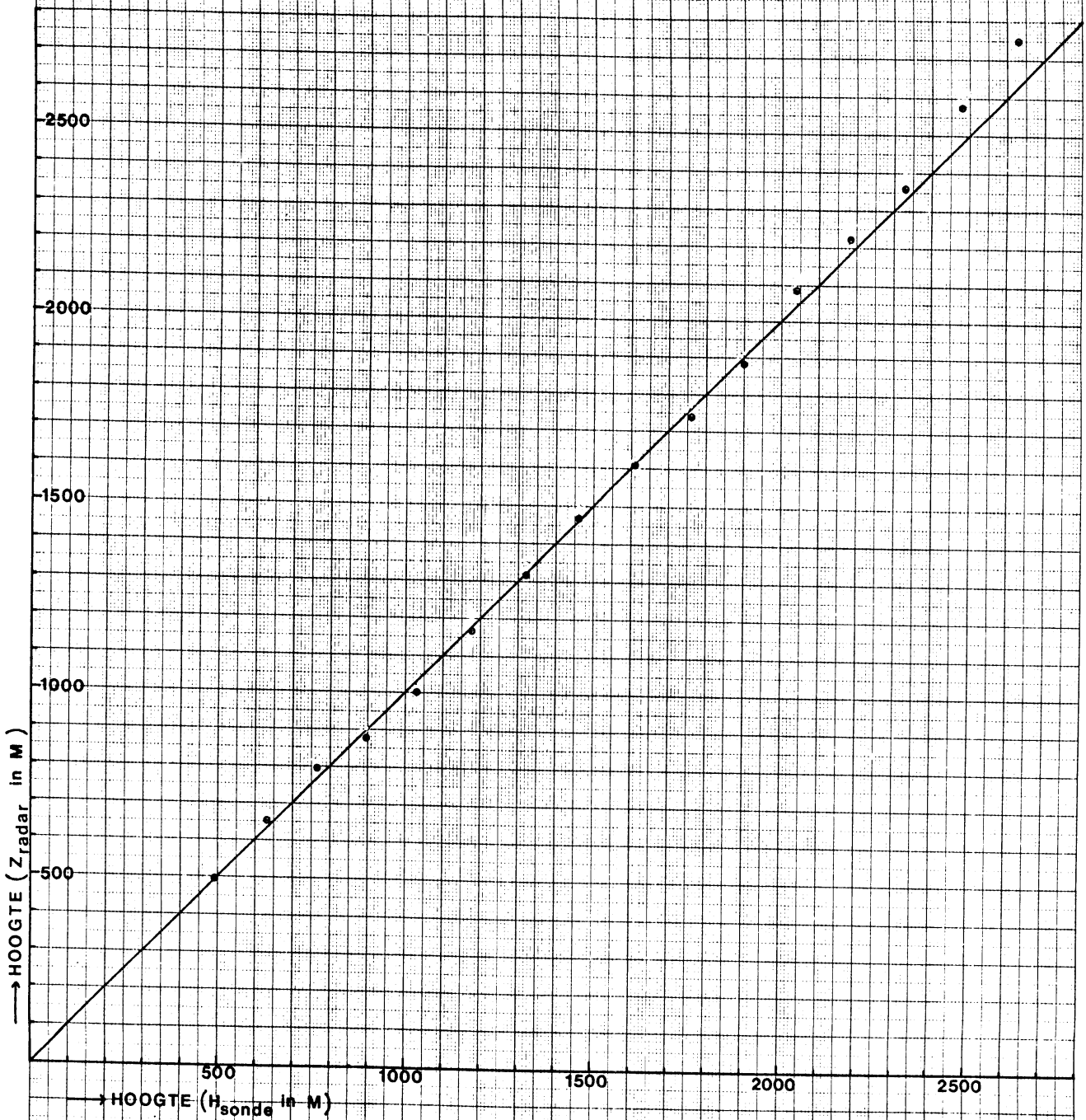
Grafiek 6

CABAUW

14.1

Datum 11 OKT. 1978

Tijd 14.48 UT



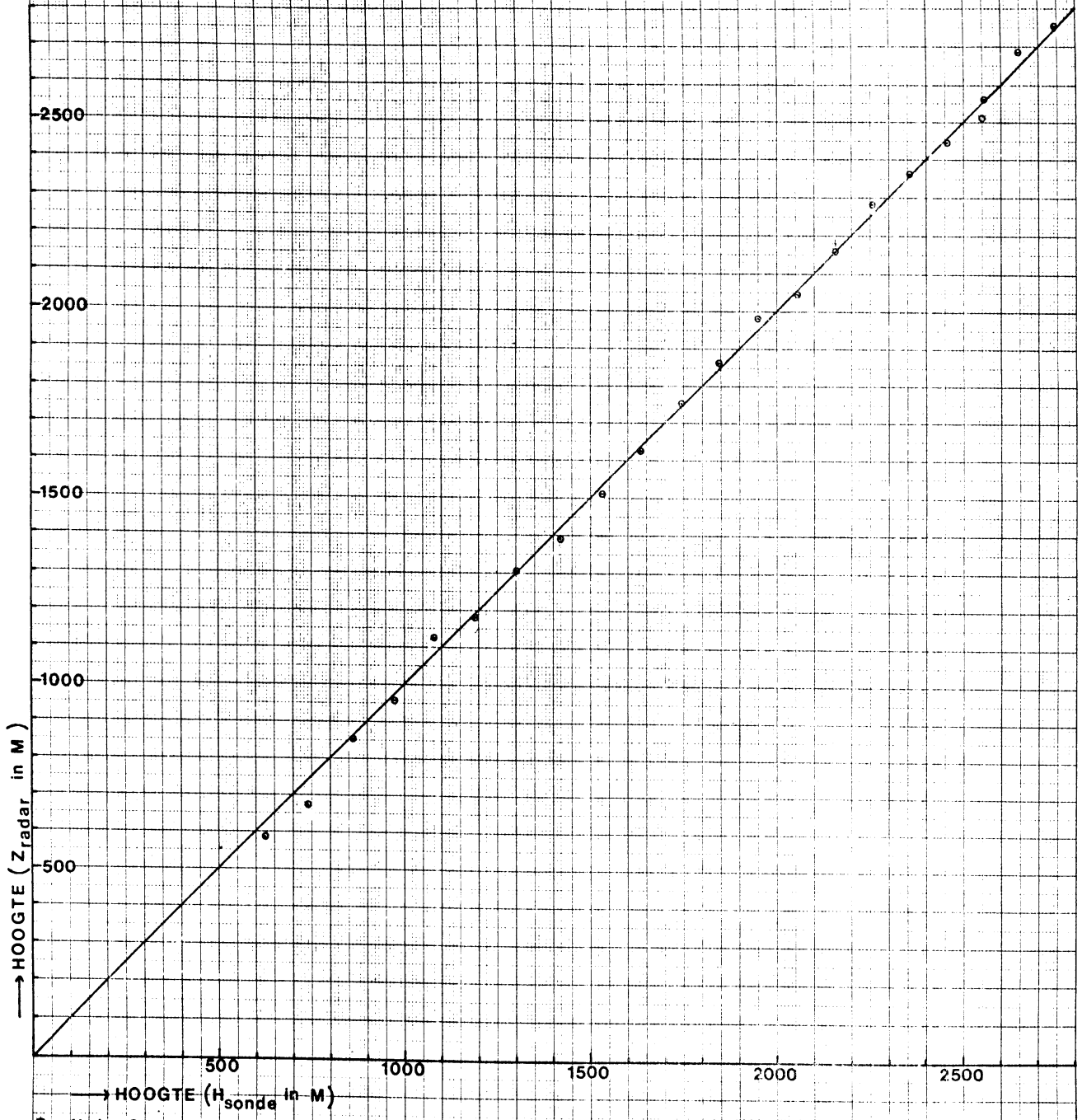
Grafiek 7

CABAUW:

- 42 -

Datum : 06 DEC. 1978

Tijd : 13.48 UT.



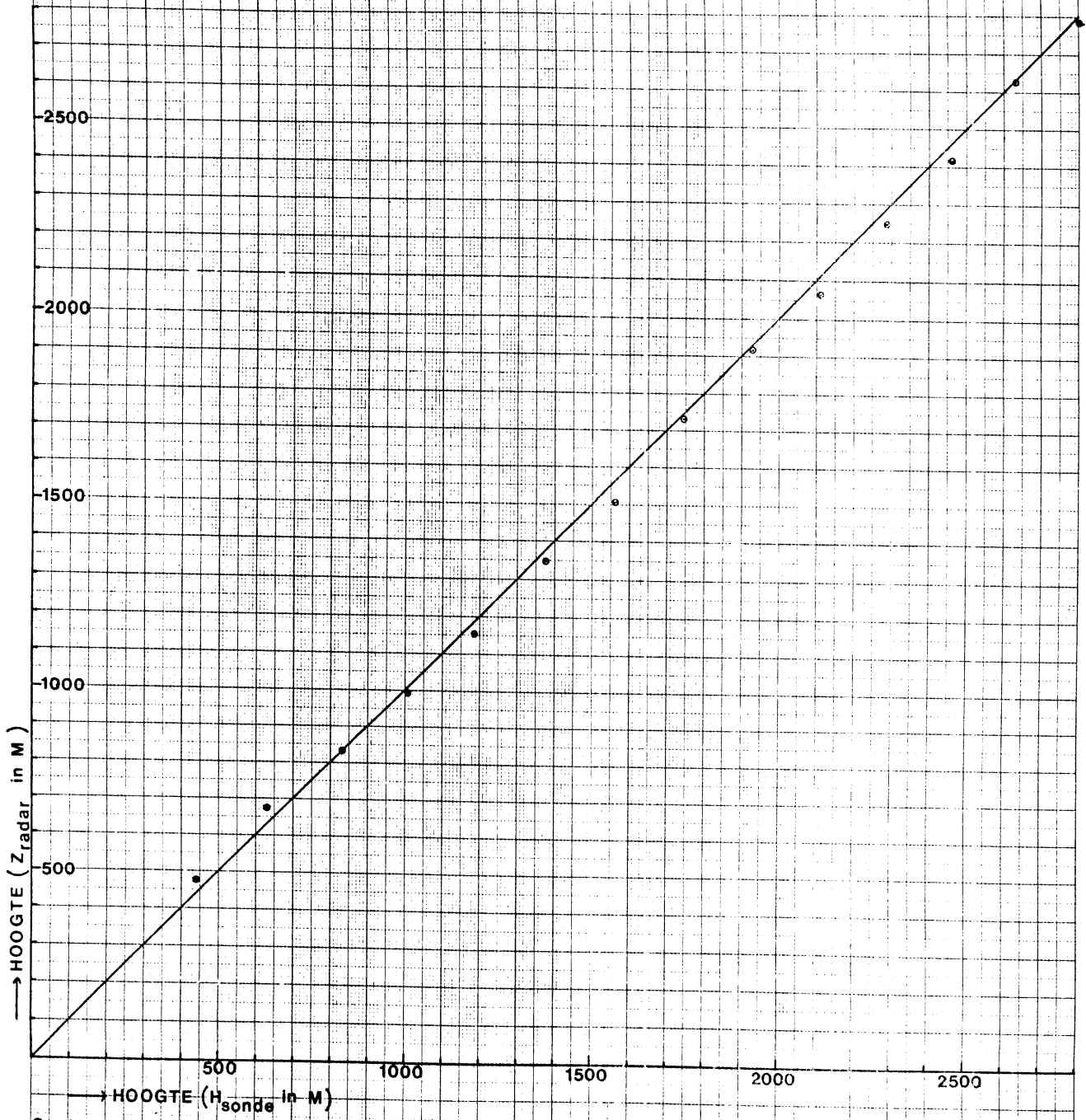
Grafiek 8

CABAUW:

-43-

Datum : 07 DEC 1978

Tijd : 13.40 UT.



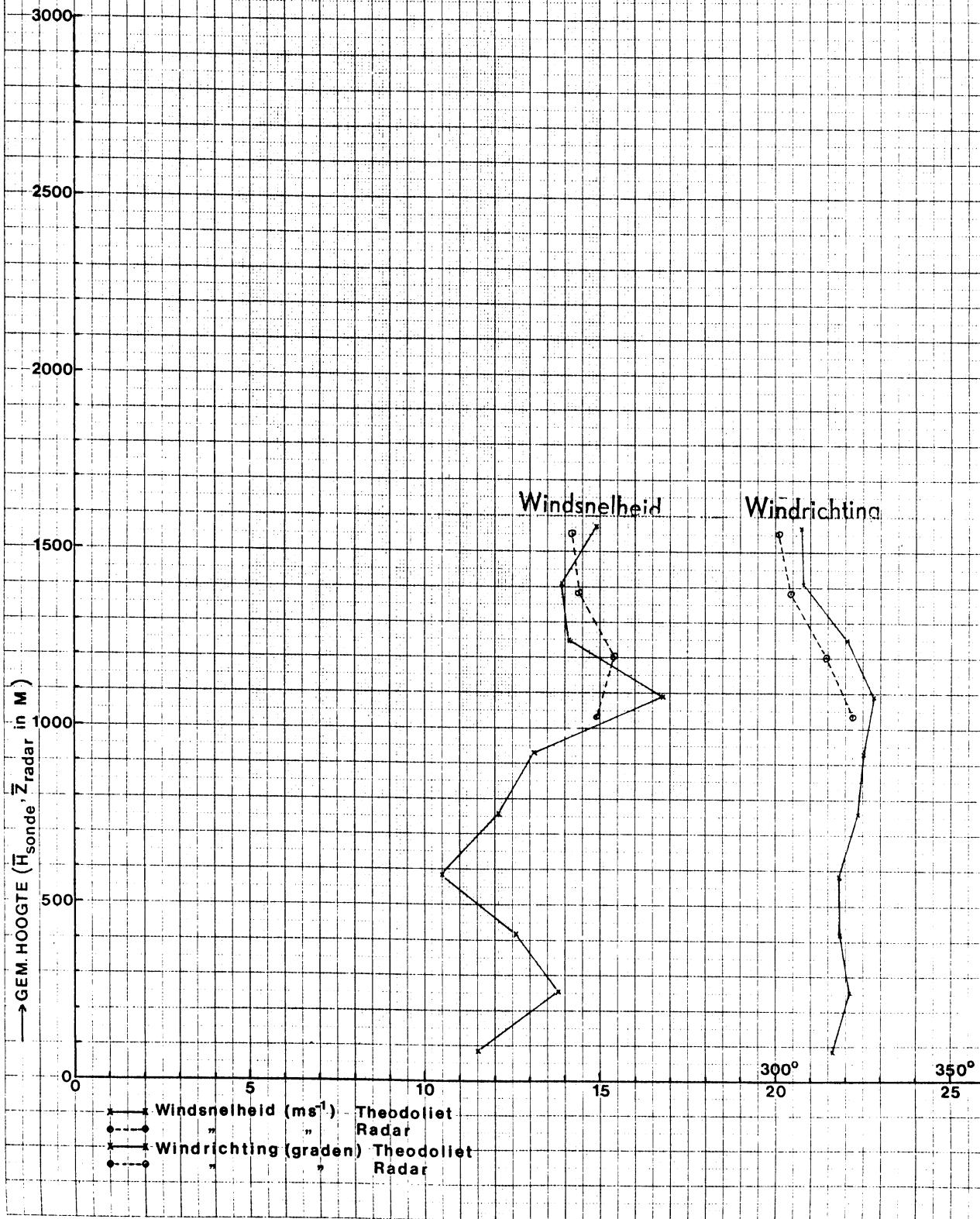
Grafiek 9

CABAUW:

Grafiek 10

Datum : 12 SEP. 1978

Tijd : 13.14 UT.



CABAUW.

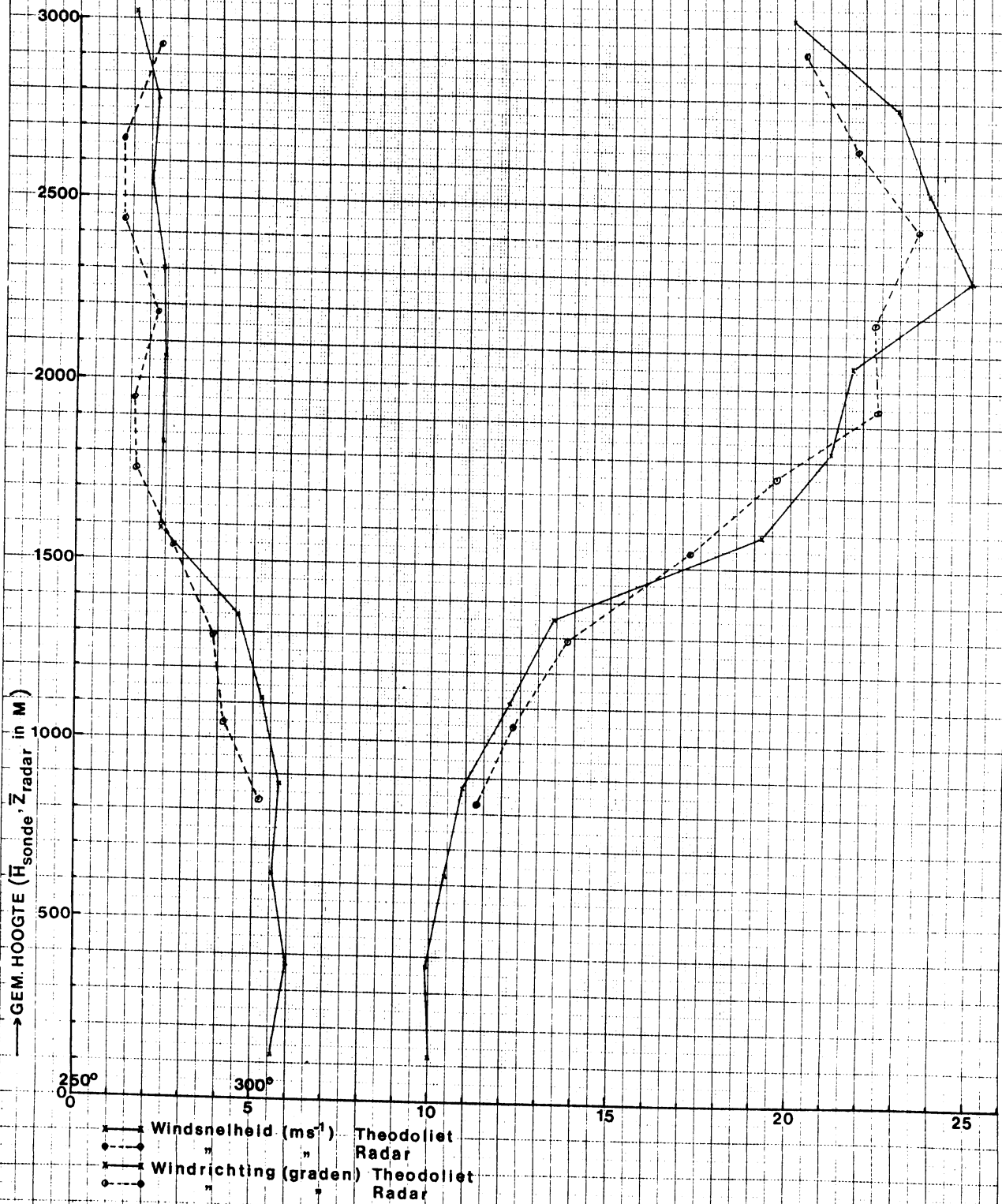
-45-
Grafiek 11

Datum : 25 SEP. 1978

Tijd : 14.45 UT.

Windrichting

Windsnelheid

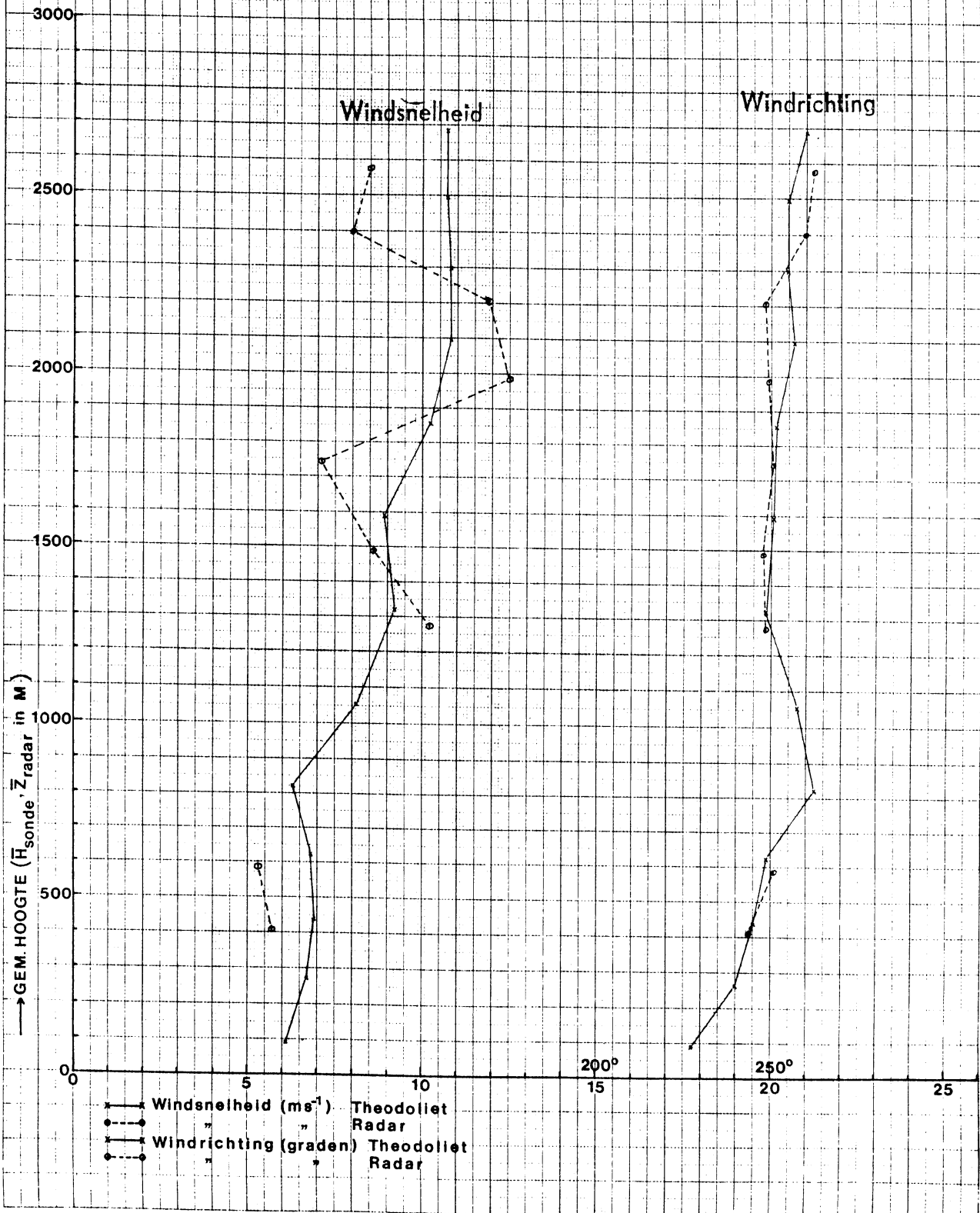


CABAUW:

Grafiek : 12

Datum : 26 SEP 1978

Tijd : 08.55 UT

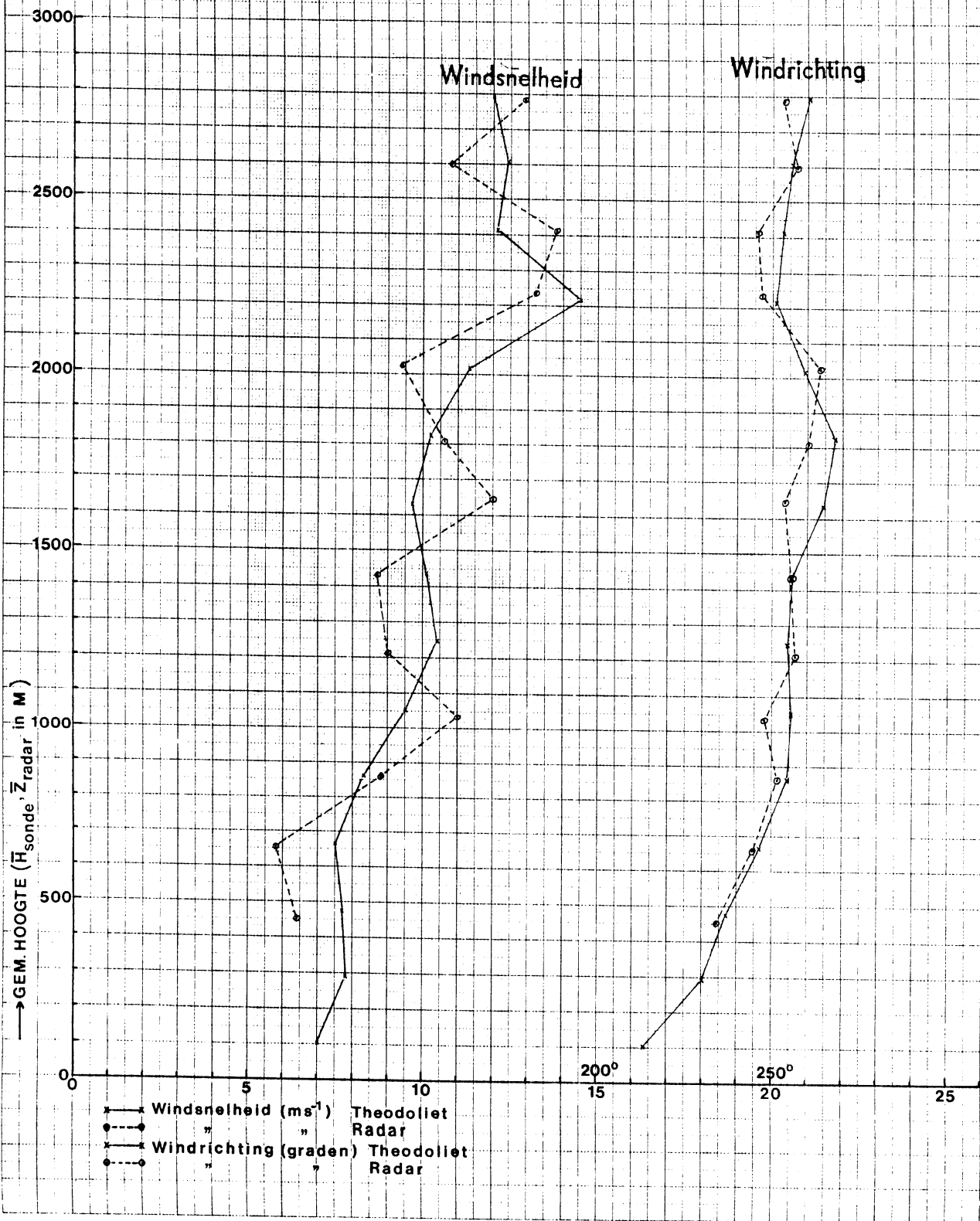


CABAUW

-47-
Grafiek 13

Datum : 26 SEP 1978

Tijd : 08.21 UT

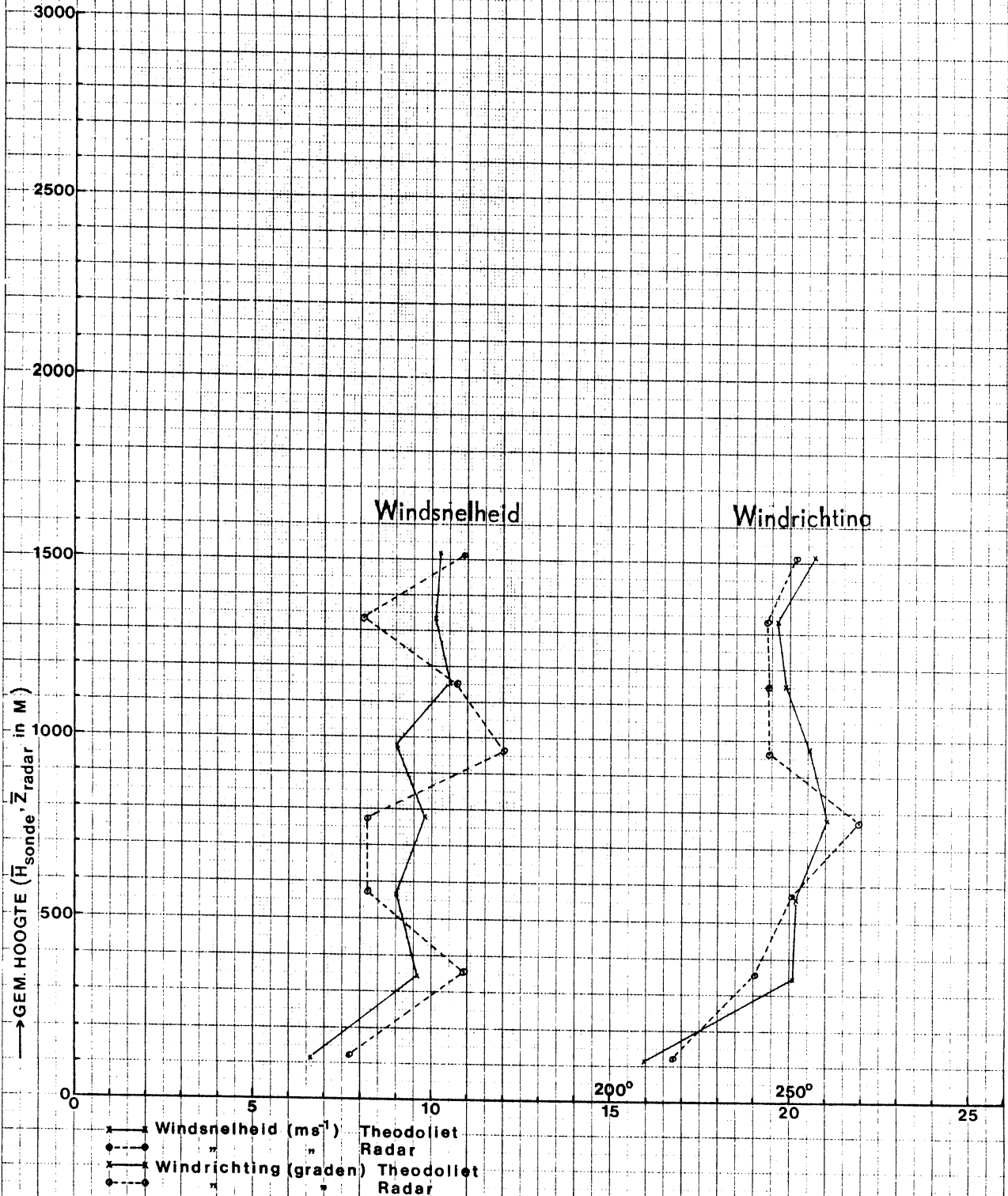


CABAUW:

Grafiek : 14

Datum : 26 SEP. 1978

Tijd : 09.16 UT

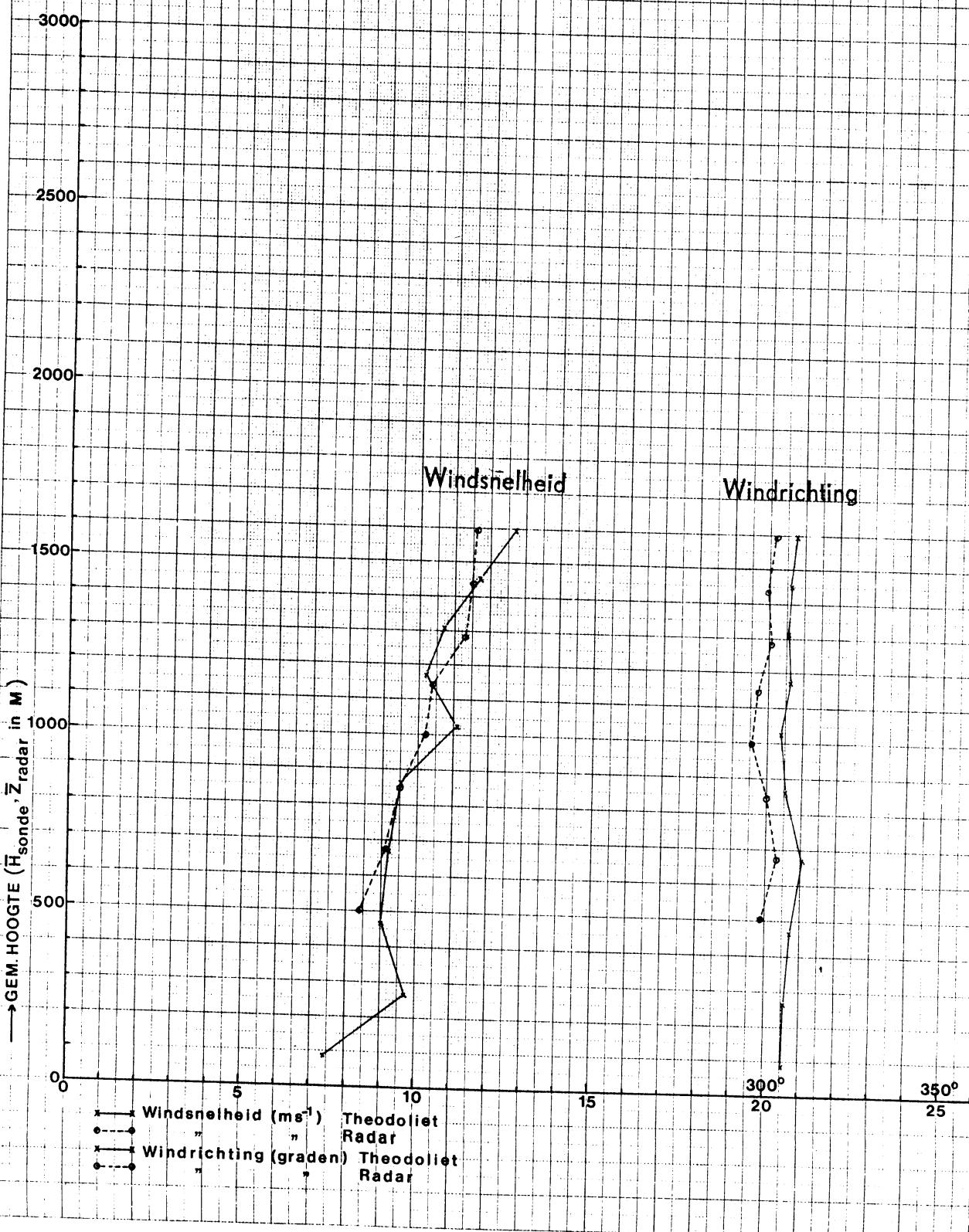


CABAUW

-49-
Grafiek : 15

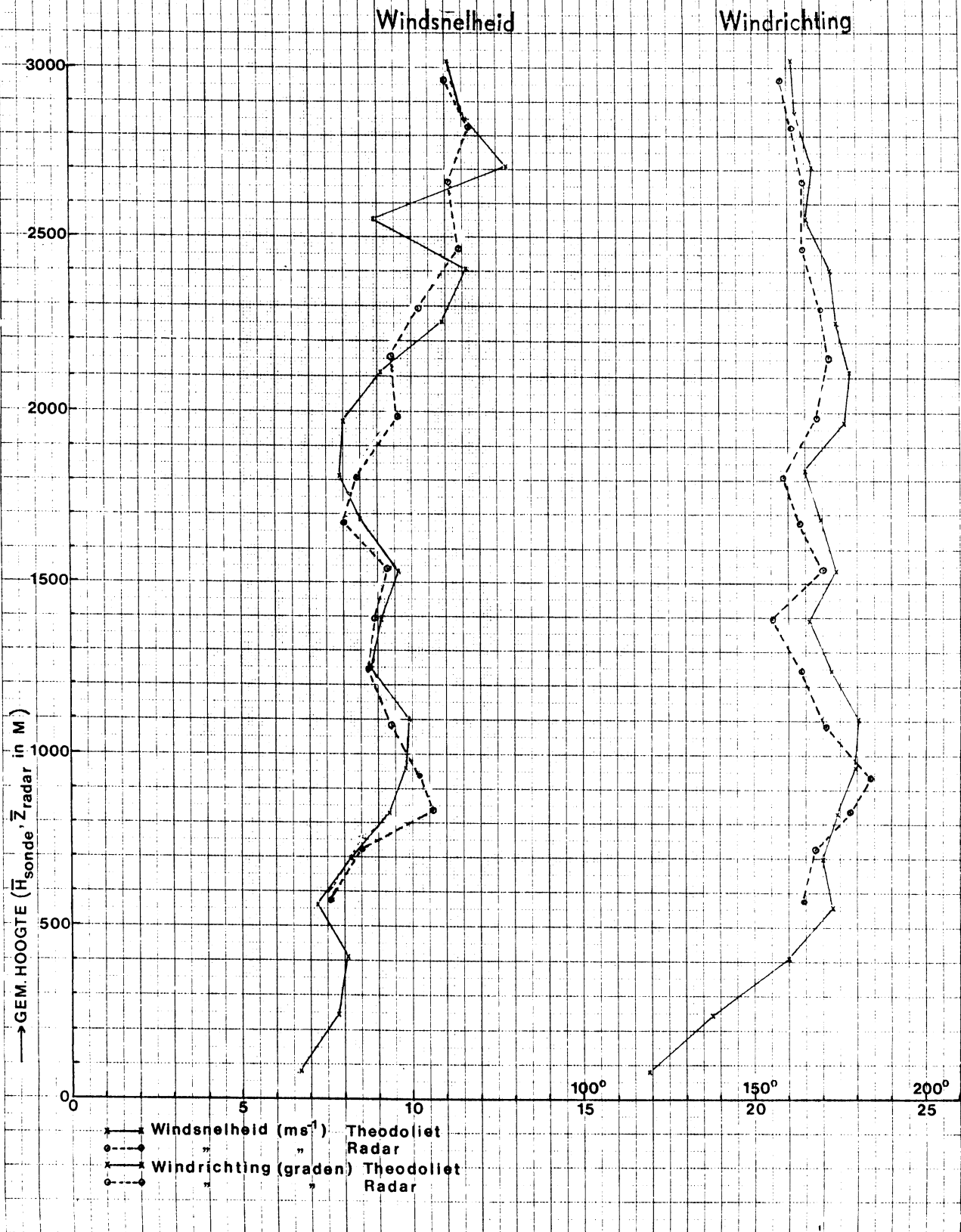
Datum : 04 OKT. 1978

Tijd : 15.28 UT



CABAUW:
 Datum : 11 OKT. 1978
 Tijd : 14.48 UT.

-50-
 Grafiek 16

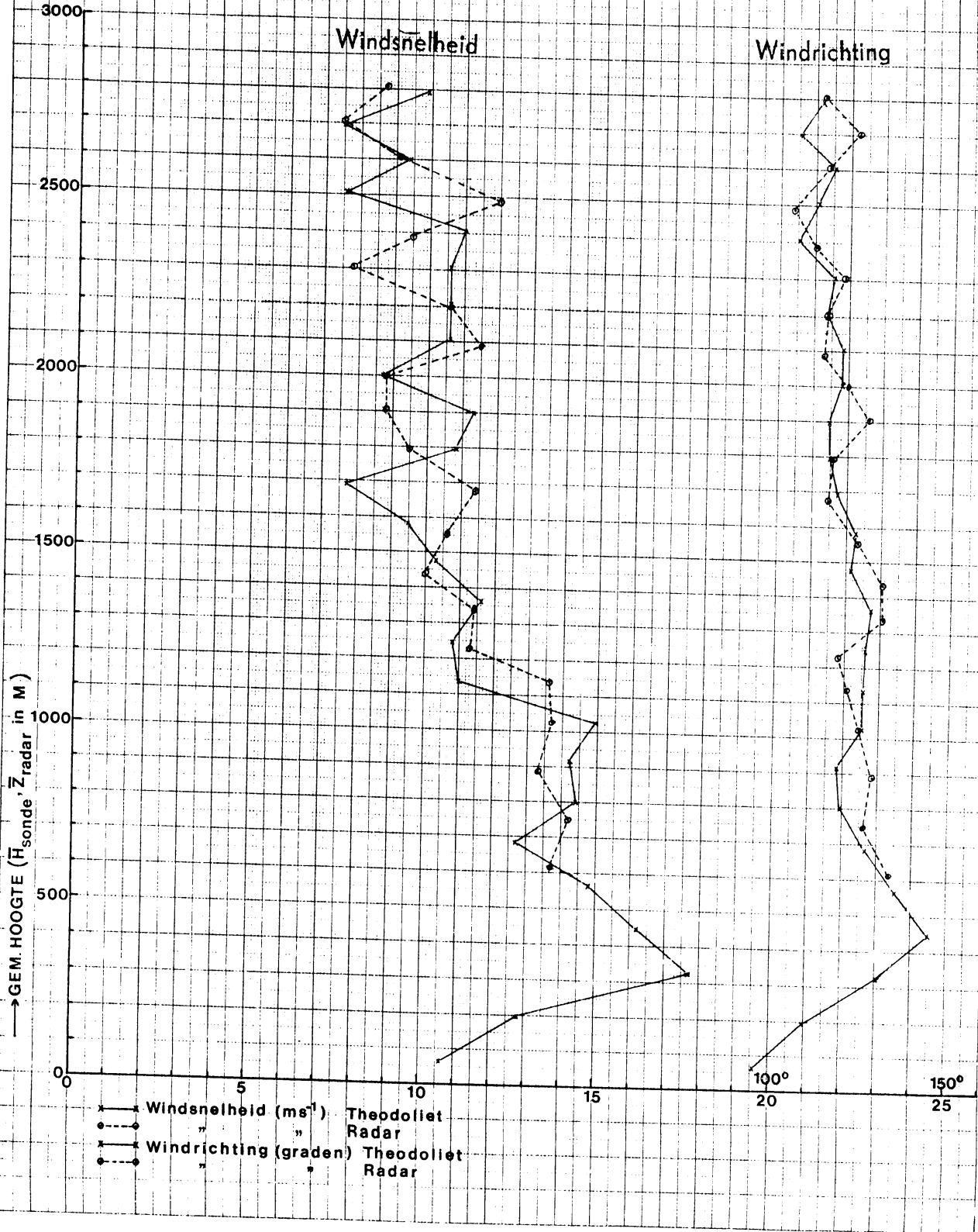


CABAUW:

-51-
Grafiek 17

Datum : 06 DEC. 1978

Tijd : 13.49 UT.



CABAUW:

Grafiek 18

Datum : 07 DEC. 1978

Tijd : 13.40 UT.

