

# automatische detektie van inversies met Sodar

A. C. M. Beljaars en R. Agterberg

technische rapporten TR-106

**AUTOMATISCHE DETEKTIE VAN INVERSIES MET SODAR**

**Anton Beljaars en Rob Agterberg**

## 1. INLEIDING

Sodarmetingen geven informatie over de toestand van de atmosferische grenslaag en over de aanwezigheid en hoogte van temperatuurinversies. Ook de dikte van een mistlaag en de bovenrand van een laag stratusdek kan over het algemeen goed gedetekteerd worden. Het hoogtebereik hangt van de omstandigheden af en blijft meestal beperkt tot 500 m. Met bewolking samenhangende inversies kunnen vaak tot op grotere hoogte gedetekteerd worden (tot maximaal 800 m met het huidige apparaat).

Sodarmetingen worden meestal geregistreerd op zgn. facsimile stroken, waarbij de echoïntensiteit als functie van hoogte en tijd als "zwarting" op papier komt. De zwarting is een maat voor de structuurfunctie van temperatuur of anders gezegd voor de intensiteit van de temperatuurturbulentie op een schaal van de golflengte van het geluid (ongeveer 20 cm). Zwarte banden op papier kunnen meestal als temperatuurinversies gezien worden. De nadelen van dit soort registraties zijn van praktische aard: (i) het is moeilijk de kwaliteit van de facsimile registratie op routinebasis te handhaven en (ii) de opslag van bijvoorbeeld inversiehoogten in een computerbestand is pas mogelijk na een bewerkelijke subjectieve interpretatie van de stroken.

In het kader van het continue Cabauw-meetprogramma is daarom naar een methode gezocht om de sodarmetingen automatisch te transformeren naar gecodeerde inversiehoogten. De oplossing voor dit probleem bestaat uit twee onderdelen:

1. Een microprocessor, die de echoïntensiteit als functie van de hoogte meet en middelt over een 50-tal pulsen. Het resultaat is een gemiddeld profiel van echoïntensiteit in de vorm van een tabel. Dit resultaat wordt ongeveer om de 10 minuten doorgegeven aan de Cabauw-inzamelautomaat. De microprocessor met software is overgenomen van de KEMA, waar dit systeem ontwikkeld is (zie Steenkist, 1982 en Smallegange, 1982).
2. Patroonherkenningssoftware waarmee uit de intensiteitsprofielen de inversiehoogten worden afgeleid.

In dit rapport ligt de nadruk op onderdeel 2. De methode wordt beschreven en de resultaten ervan worden vergeleken met een subjectieve handcodering van facsimileregistraties.

## 2. HET DIGITALE REGISTRATIESYSTEEM

Het registratiesysteem bestaat uit een microprocessor met bij de KEMA ontwikkelde software. De microprocessor krijgt als aftakking van de Sodar twee signalen aangeboden. Het ene signaal is een synchronisatiepuls (SYNC-puls), die voor de timing gebruikt wordt. Het tweede signaal is evenredig met de eechointensiteit (de range-correctie is al toegepast op dit signaal).

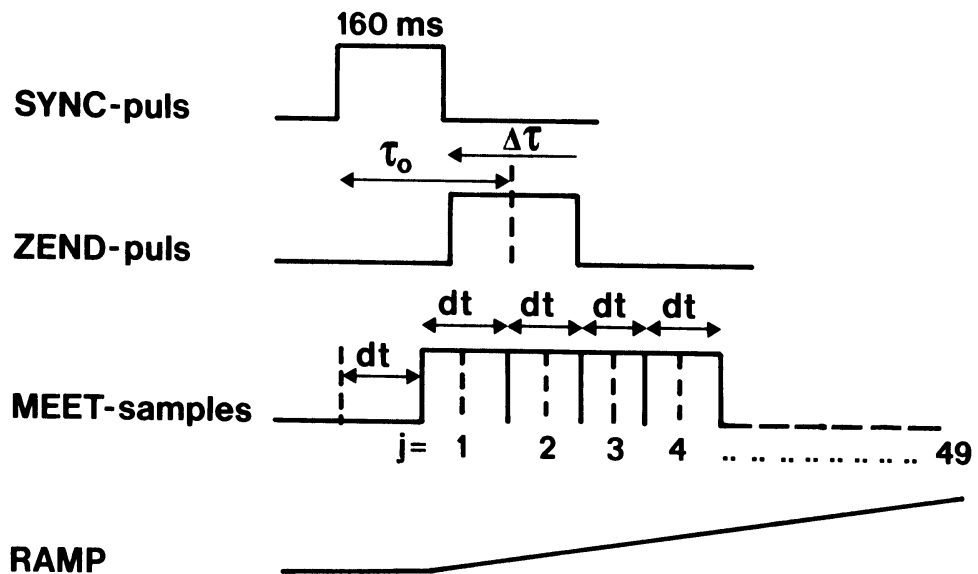


Fig. 1 Timing diagram van Sodar en digitale registratie.

De digitale registratie wacht op de synchronisatiepuls (SYNC) van de sodar en start de eigen cyclus op de positieve flank. De timing van de sodar start ook met de positieve flank van de SYNC-puls. De zendpuls start op de neergaande flank van de SYNC puls en duurt  $\Delta\tau$  seconden. Om de hoogten te vinden, die horen bij de opeenvolgende samples van het registratiesysteem, bepalen we het tijdsinterval tussen het midden van zendpuls en het midden van het meetsample (de samplewaarden zijn het gemiddelde van het signaal over  $dt=0.1$  seconden). Alle absolute tijdstippen worden gerekend vanaf het begin van de SYNC-puls. Het moment van de zendpuls ligt dus op  $\tau_0 = 0.160 + \Delta\tau/2$ . De lengte van de zendpuls is instelbaar op 50, 100 en 200 ms.

De digitale registratie wacht  $dt$  seconden na de opgaande flank van de SYNC-puls en neemt dan 50 samples als gemiddelde over  $dt$  seconden ( $dt=0.1$ ). De hoogte, die hoort bij sample  $j$  is:

$$Z(j) = \frac{1}{2} c \{ dt(j+0.5) - 0.160 - \Delta\tau/2 \} ,$$

waarbij  $c$  de geluidssnelheid is. We kiezen  $c=338$  m/s horend bij een temperatuur van 10 C.

Het analoge signaal, dat van de sodar komt is gecorrigeerd voor de "range", doordat het signaal met een lineair in de tijd toenemende spanning vermenigvuldigd is (RAMP in Fig. 1). De versterking hangt af van het tijdstip van de zendpuls, van de stand van de RAMPSTART-knop en van de stand van de SENSITIVITY-knop. Op een evenredigheidsconstante na is de versterking voor sample j:

$$V(j) = 0.909 \{(j+q)/(j_{\max}+q)\} / \{15(1-S/10) + 0.909\}$$

De waarde van q wordt bepaald door de stand van de RAMPSTART-knop, met de waarden 1, -2 en -5 voor respectievelijk de standen early, middle en late. De waarde van S is de stand van de SENSITIVITY-knop. De index  $j_{\max}$  is ingevoerd als referentieindex. Hier wordt in paragraaf 3 op terug gekomen.

De microprocessor middelt voor ieder meetniveau over 50 echo's en voert dan een serie getallen uit bestaande uit een minutenteller (vanaf het tijdstip van inschakelen) in 5 cijfers en 50 meetwaarden van de echointensiteit in 2 cijfers op een schaal van 0 tot 100. Hierna volgen nog 2 getallen van 2 cijfers met informatie over de variabiliteit van het signaal op niveau 5 en 25. Deze variabiliteit is het gemiddelde van het absolute verschil tussen sample waarden en het gemiddelde van het vorige tien-minuten-interval. Deze informatie wordt verder niet gebruikt.

De resultaten van de berekeningen van de microprocessor worden ongeveer om de tien minuten verstuurd in ASCII code (getallen gescheiden door spaties) over een RS-232 (300 baud) interface zonder handshake.

### 3. DE AUTOMATISCHE INTERPRETATIE VAN HET SODAR SIGNAAL

Een groot voordeel van de kwantitatieve meting met behulp van een digitaal registratiesysteem is, dat rekening gehouden kan worden met achtergrondlawaai en ruis. Dit doen we door de meting op grote hoogte te interpreteren als ruismeting. De echointensiteit zal hier klein zijn, waardoor ruis en achtergrondlawaai overheersen. We kiezen hiervoor niveau  $j=j_{\max}$  met  $j_{\max}=49$ , overeenkomend met ongeveer 800 m. De ruisintensiteit op dit referentieniveau wordt m.b.v. de bekende versterkingsfactoren als functie van de hoogte teruggerekend naar alle andere meethoogten. Bovendien wordt gecorrigeerd voor de stand van de sensitivity-knop om er voor te zorgen dat de resulterende getallen vergelijkbaar blijven zelfs al wordt de gevoeligheid veranderd. Wanneer  $A(j)$  de gemeten amplituden zijn met  $j=1...50$ , dan wordt de intensiteit  $CT(j)$  na ruisaf trek:

$$CT(j) = \left\{ \frac{A(j)}{V(j)} - \frac{A(j_{\max})}{V(j_{\max})} \right\} \frac{Z(j)}{Z(j_{\max})}$$

In Fig. 2 wordt een voorbeeld gegeven van een intensiteitsprofiel voor en na ruisaftrek bij aanwezigheid van een hoogteinversie en bij een grondinversie. De achtergrondruis manifesteert zich duidelijk als een met de hoogte toenemend signaalniveau. Dit is het gevolg van de "range-correctie". Na ruisaftrek is het gemakkelijker om zwakke inversies te onderscheiden.

Het ligt voor de hand om bij het zoeken naar inversies te kijken naar scherpe intensiteitsdalingen bij toenemende hoogte. Zowel in convectieve situaties als bij grondinversies neemt de echointensiteit sterk af met de hoogte. Het zal straks blijken, dat het onderscheid tussen convectie en grondinversies hierdoor vaak moeilijk te maken is (vergelijk ook de resultaten van Steenkist, 1982). We kijken daarom eerst naar karakteristieke profielen in beide gevallen. In Fig. 3 worden enkele voorbeelden gegeven. In convectieve situaties verwachten we convectief schalingsgedrag volgens  $Z^{*-2/3}$  (zie Neff, 1975). Daarom is  $CT*Z^{*2/3}$  ook uitgezet. Het blijkt, dat deze functie nog steeds afneemt met de hoogte. Dit is het gevolg van demping van de geluidsgolven. De dempingslengte blijkt in de buurt van 170 m te liggen. Het verschil tussen de grondinversies en de convectieve situaties is erg duidelijk; bij een grondinversie is op lage hoogte de afname van de intensiteit veel kleiner en boven de inversie neemt de intensiteit veel sneller af dan in convectieve situaties.

Op basis van deze informatie is een procedure ontworpen om type en hoogte van inversies te bepalen. De procedure bestaat uit een opeenvolging van bewerkingen en controles:

1. Het zoeken van inversies. Allereerst wordt er apart gekeken naar de laagste meetniveau's.

De laagst bruikbare meting blijkt die voor  $j=5$  te zijn. Nog lagere meetniveau's worden te sterk verstoord door de zendpuls. Op de volgende criteria wordt getoetst:

- a.  $CT(5) - CT(6) > 20$
- b.  $CT(5) - CT(6) > CT(6) - CT(7)$
- c.  $\{CT(5) - CT(6)\} / \{\frac{1}{2}CT(5) + \frac{1}{2}CT(6)\} > 0.5$

Als aan al deze condities voldaan wordt, concluderen we, dat er een grondinversie aanwezig is tussen  $j=5$  en  $j=6$ . De hoogte ervan wordt berekend door van het geïnterpolleerde  $dCT/dZ$ -profiel het minimum te zoeken.

Vervolgens wordt vanaf  $j=6$  voor iedere  $j$  naar de volgende condities gekeken:

- a. Heeft  $dCT/dZ$  een minimum ? (maximum afname van CT)
- b.  $(1/CT) dCT/DZ > 0.25$  ? (voldoend sterke relatieve gradient)
- c.  $CT(j) - CT(j-1) > 2$  ? (voldoende absolute gradient)
- d.  $CT(j) > 5$  ? (voldoende signaal)

Indien aan al deze condities voldaan is, wordt een inversiehoogte berekend door van het geïnterpolleerde  $dCT/dZ$ -profiel het minimum te zoeken.

## 2. Het verwijderen van onrealistische inversies.

Volgens bovenstaande procedure worden een aantal inversies gevonden, die niet werkelijk aanwezig zijn. Dit zou ondervangen kunnen worden door de criteria aan te scherpen, maar dan zouden de zwakkere inversies ook niet meer gedetekteerd worden. Daarom worden inversies aan een aantal controles onderworpen:

- Indien twee inversies boven elkaar zitten op een afstand van minder dan 20 m, wordt de onderste verworpen.
- Indien een inversie gevonden is tussen  $j=4$  en  $j=7$ , dan wordt gecontroleerd of  $CT \cdot \exp(Z/170)$  onder de inversie 2 maal zo groot is als boven de inversie (dit is de voor demping gecorrigeerde echointensiteit). Wanneer dit niet het geval is wordt de inversie verworpen.
- Voor inversies boven  $j = 7$  ( $Z > 100$  m) wordt geeist, dat  $CT \cdot \exp(Z/170)$  een minimum heeft onder de inversie. Wanneer dit niet het geval is, hebben we waarschijnlijk met convectie te maken. De inversie wordt nu verworpen.

## 3. Het bepalen van het type inversie.

- Voor inversies beneden de 100 m wordt altijd een grondinversie gecodeerd.
- Een inversie boven de 100 m wordt hoogteinversie genoemd, indien er een minimum in CT voorkomt onder de inversie met een waarde, die lager is dan 75% van het bovenliggende maximum.
- Bij meerdere inversies boven elkaar worden de bovenste inversies altijd hoogteinversie genoemd.

## 4. Het vinden van convectieve situaties

- Het convectie criterium wordt alleen toegepast, wanneer geen inversies gevonden zijn of wanneer een eventuele hoogteinversie boven de 200 m zit.
- Er wordt geconcludeerd, dat de situatie convectief is, wanneer  $CT \cdot \exp(Z/170)$  ongeveer voldoet aan  $Z^{** - 2/3}$ . De gemeten verhouding van de voor demping gecorrigeerde CT tussen  $Z=74$  m en  $Z=159$  mag slechts 20% van  $(74/159)^{** - 2/3}$  afwijken.

Bovenstaande procedure wordt door de Cabauw inzamelmachine iedere 10 minuten toegepast op de gemeten intensiteitsprofielen gemiddeld over het laatste half uur (3 metingen van de sodar-microprocessor). Het is gebleken, dat 10 minuut gemiddelden te veel onzekerheid vertonen voor een betrouwbare detektie.

De resultaten worden gegeven in een codevorm, die zich gemakkelijk leent voor opslag in een database. Er worden maximaal twee inversiehoogten in de code ondergebracht. De code bestaat uit drie getallen met drie cijfers:

XSS        XHH        XHH    waarbij:

in XSS:

X = 8    voor convectie  
          9    geen detektie  
 SS =    echosterkte op een schaal van 1 to 98  
             gemeten voor j=8 of Z=108 m  
          99    betekent geen meting of te zwak signaal

in XHH (komt twee maal voor):

X = 2    voor grondinversie  
          3    voor hoogteinversie  
          4    meer dan twee inversies gedetekteerd; alleen  
             van de twee bovenste wordt de hoogte gegeven.  
          9    geen detektie  
 HH =    inversiehoogte in eenheden van 10m  
          99    geen detektie

#### 4. VERGELIJKING MET SUBJECTIEVE ANALYSE VAN FACSIMILE REGISTRATIES

Om de methode te testen zijn in 1982 een aantal sodarmetingen met een cassetterecorder ingezameld en verwerkt op de centrale KNMI computer. De detektiemethode verschilt nauwelijks van de hierboven beschreven procedure. Er is een klein verschil: de procedure is direkt toegepast op de 10 minuut gemiddelde intensiteitsprofielen en er is een controle op consistentie in de tijd toegepast. Inversies werden allen geaccepteerd wanneer ze in 3 opeenvolgende 10 minuut intervallen voorkwamen.

De figuren 5 t/m 8 geven voorbeelden van facsimileregistraties in vergelijking met de resultaten van de subjectieve en automatische detektie. Subjectieve interpretatie betekent, dat de facsimilestroken nauwkeurig bekeken zijn en per 10-minuut interval gecodeerd zijn m.b.v. de code, die ook bij de automatische detektie gebruikt wordt. Hierbij is geen voorkennis gebruikt over de resultaten van de automatische procedure. De figuren 5 en 6 laten bijvoorbeeld nachtelijke inversies zien met daaropvolgend een optrekkende grondinversie. De automatische detektie werkt hier prima; zelfs de hoogteinversie boven de grondinversie wordt gedetekteerd. De overeenkomst wordt minder bij vagere facsimile plaatjes. Figuur 7 is hiervan een voorbeeld. Op de facsimile strook is een grondinversie te zien met daarboven een intermitterende structuur. Zowel de subjectieve als de automatische codering geven een verward beeld. Hoewel de grondinversie nog duidelijk aanwezig is in de codering, is deze minder continu in de tijd dan men op het eerste gezicht uit de facsimile strook zou afleiden. De codering over korte



tijdintervallen maakt het resultaat iets minder consistent. Figuur 8 geeft een voorbeeld met windruis. De subjectieve interpretatie geeft geen enkele informatie. Na aftrek van ruis in het automatische schema blijkt het signaal toch informatie te bevatten. De detektie van convectie is waarschijnlijk correct in deze situatie.

De vergelijking van de twee methoden over 8 opeenvolgende dagen is weergegeven in tabel I. Voor ieder 10-minuut interval is gekeken welke detektie beide methoden geven. In het ideale geval zouden alle waarnemingen in de diagonaalkolommen van de tabel moeten vallen. Dit is duidelijk niet het geval; de automatische detektie maakt af en toe missers. Deze zijn voornamelijk gerelateerd aan de vagere situaties. In dit soort gevallen is subjectieve interpretatie natuurlijk niet eenduidig. Wanneer uitgevoerd door een andere persoon, zou de subjectieve interpretatie ook vaak andere resultaten opleveren. Over het algemeen blijkt de automatische detektie een beetje aan de conservatieve kant te zijn in de zin, dat vaak geen detektie gecodeerd wordt, terwijl subjectieve interpretatie toch nog een resultaat oplevert. Dit kan als een tekortkoming gezien worden, maar heeft ook voordelen. De automatische detektie slaat gewoon de vage situaties over en codeert "geen detektie".

Voor de gevallen, dat beide methoden een inversie opleveren, zijn in tabel II de verschillen in hoogte gegeven ingedeeld in klassen. Het blijkt, dat de automatische detektie over het algemeen een iets hogere inversie geeft dan de subjectieve interpretatie. De verschillen zijn overigens klein. De oorzaak ervan is waarschijnlijk gelegen in onzekerheid over de exacte hoogteschaal van de facsimile stroken. Deze onzekerheid bestaat niet voor de digitale registratie, omdat de timing van de samples in relatie tot de zendpuls exact bekend is.

## 5. CONCLUSIES

In dit rapport is een automatisch detektiesysteem beschreven, waarmee digitale sodarmetingen omgezet kunnen worden in een codering voor het type inversie en de hoogte ervan. Ook de aanwezigheid van convectie kan herkend worden. De resultaten van de automatische detektie zijn vergeleken met subjectieve interpretatie van de facsimile stroken. De overeenkomst blijkt erg goed te zijn, wanneer het om duidelijke situaties gaat. Bij minder duidelijke situaties wordt de overeenkomst minder en heeft het automatische schema de neiging om "geen detektie" te coderen. Het voordeel van de automatische detektie is, dat de gecodeerde informatie gemakkelijk verstuurd kan worden en ook gemakkelijk in een database opgenomen kan worden. In gevallen, dat de sodarecho's duidelijk zijn en daarom ook interessant, levert automatische detektie over het algemeen de juiste codering op.

Tabel I. Vergelijking van de subjectieve interpretatie van facsimile-registraties met de automatische computerdetektie over de periode van 1 t/m 8 april 1982. In de tabel zijn aantallen 10-minuut waarnemingen gegeven. Omdat per 10-minuut interval meerdere waarnemingen kunnen optreden (bijv. convectie en hoogteinversie) is het totale aantal waarnemingen groter dan het totale aantal 10-minuut intervallen.

Subjectieve interpretatie van de  
facsimile registraties

		convectie	grond- inversie	hoogte- inversie	geen detektie
auto- matische computer- detektie	convectie	203	13	0	57
	grond- inversie	26	249	34	42
	hoogte- inversie	3	55	256	69
	geen detektie	173	108	77	87

Tabel II. De verdeling van de inversiehoogteverschillen uit subjectieve interpretatie (Zs) en automatische detektie (Za). Alleen die gevallen zijn meegenomen, waarbij volgens beide methoden een inversie gevonden werd. In de tabel zijn aantallen waarnemingen gegeven.

klasse	aantal
Za-Zs < -50	15
-50 < Za-Zs < -30	23
-30 < Za-Zs < -10	62
-10 < Za-Zs < 10	233
10 < Za-Zs < 30	223
30 < Za-Zs < 50	31
50 < Za-Zs	7

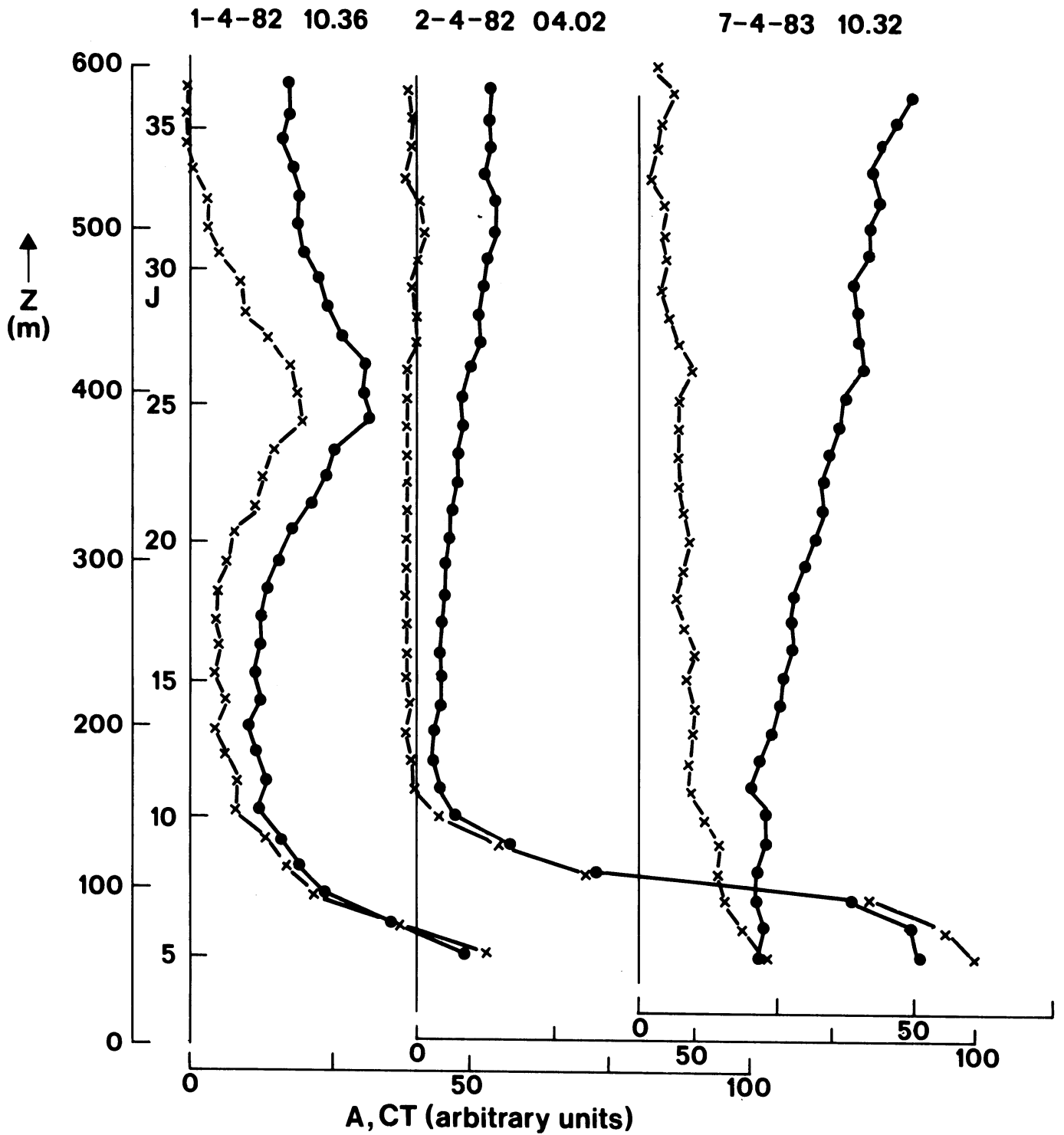


Fig. 2 De gemeten intensiteit  $A$  (.) en de voor ruis gecorrigeerde intensiteit  $CT$  (x) als functie van de hoogte voor drie verschillende situaties.

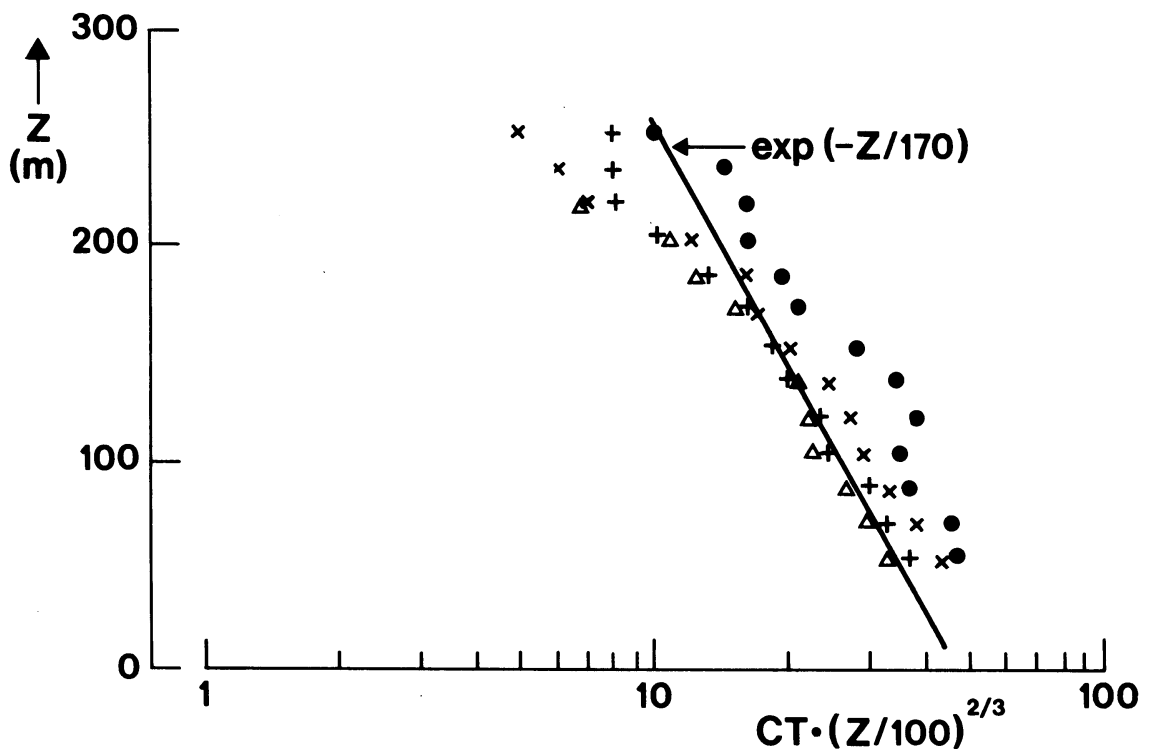
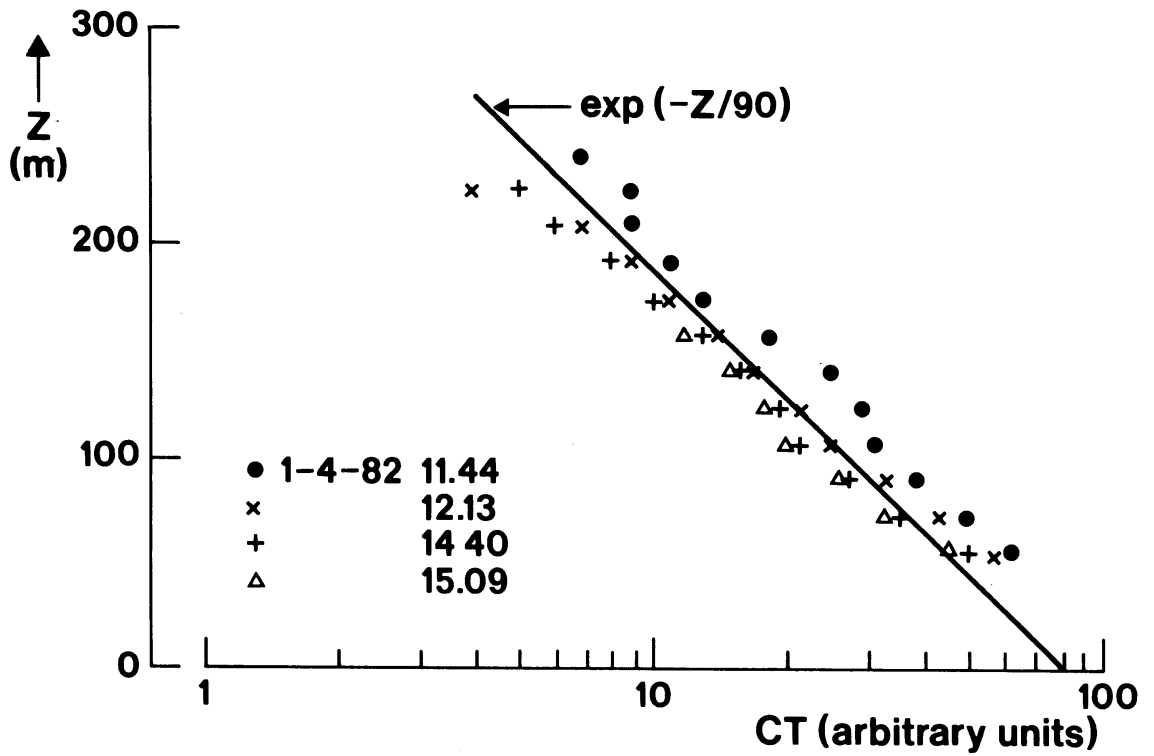


Fig. 3 Typisch voorbeeld van CT-profielen voor convectieve situaties. De onderste figuur is afgeleid uit de bovenste.

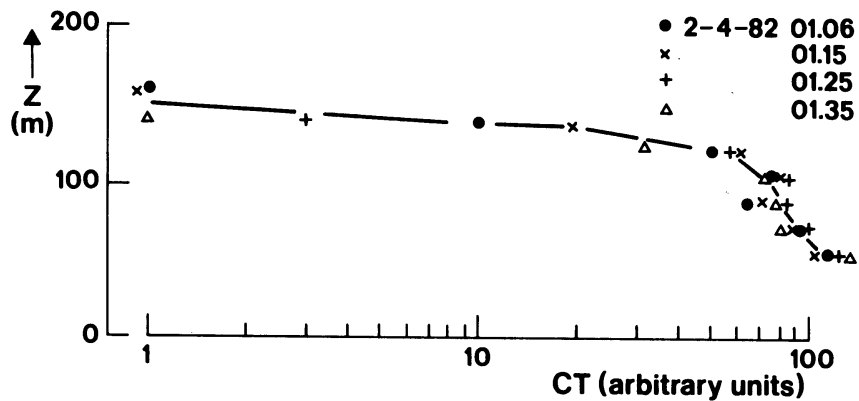
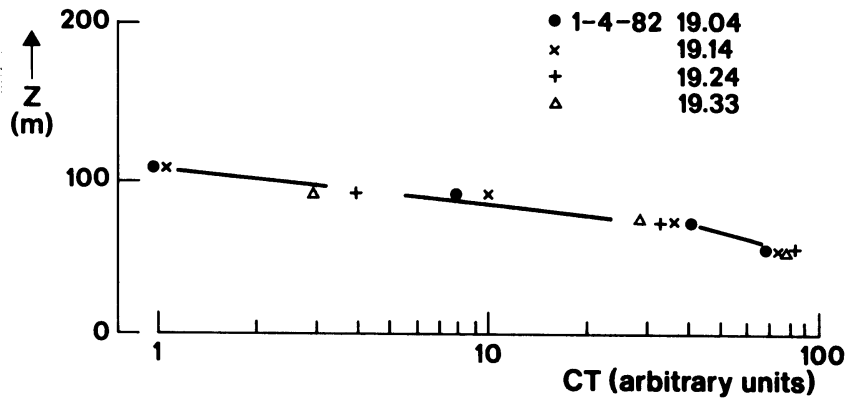


Fig. 4 Voorbeeld van intensiteitsprofielen bij een grondinversie. De dikte van de nachtelijke grenslaag is ongeveer 90 m voor het bovenste voorbeeld en 140 m voor het onderste geval.

Op de volgende vier pagina's:

Fig. 5 Vergelijking van de facsimile registratie (A) met de resultaten van subjectieve interpretatie (B) en de resultaten van automatische detektie (C). De hoogteinversies zijn aangegeven met H, grondinversies met G en convectie met C. Voorbeeld met grondinversie, s'ochtends overgaand in optrekkende hoogteinversie. Boven de grondinversie is nog een neergaande hoogteinversie waarneembaar.

Fig. 6 Voorbeeld van een grondinversie met daarna een optrekkende hoogteinversie. Boven de grondinversie is een vage hoogteinversie aanwezig. Zie Fig. 5 voor de codering.

Fig. 7 Voorbeeld van een grondinversie met daarboven intermitterende turbulentie. Zie Fig. 5 voor de codering.

Fig. 8 Voorbeeld van windruis. Bij de subjectieve interpretatie is windruis gecodeerd met W. Zie Fig. 5 voor de andere codes.

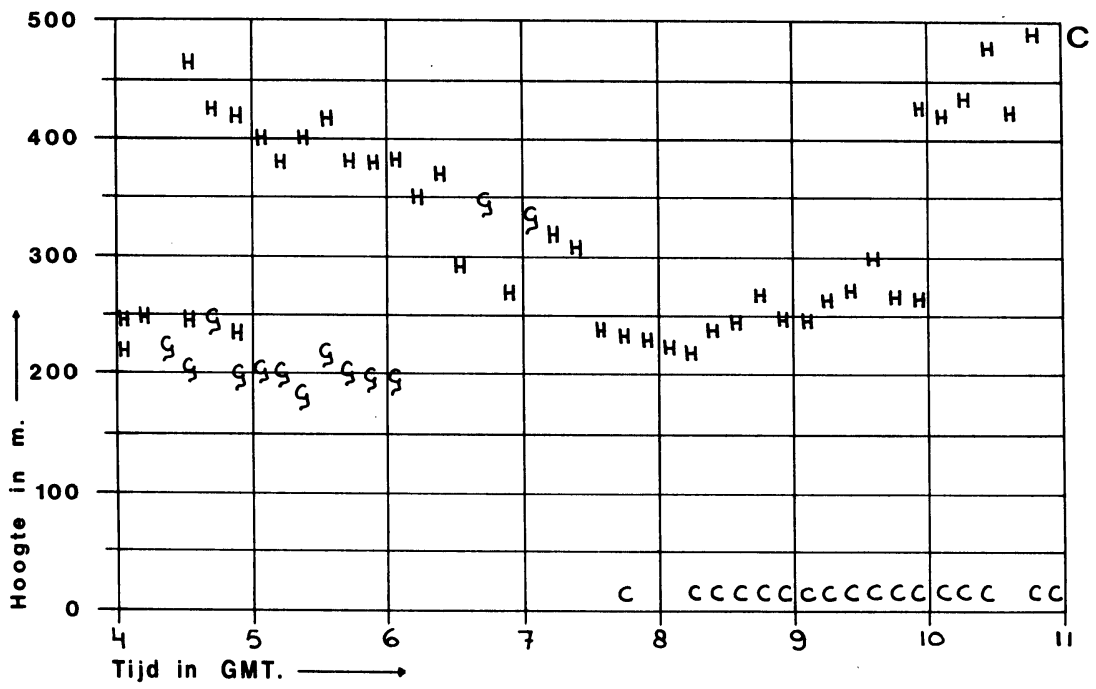
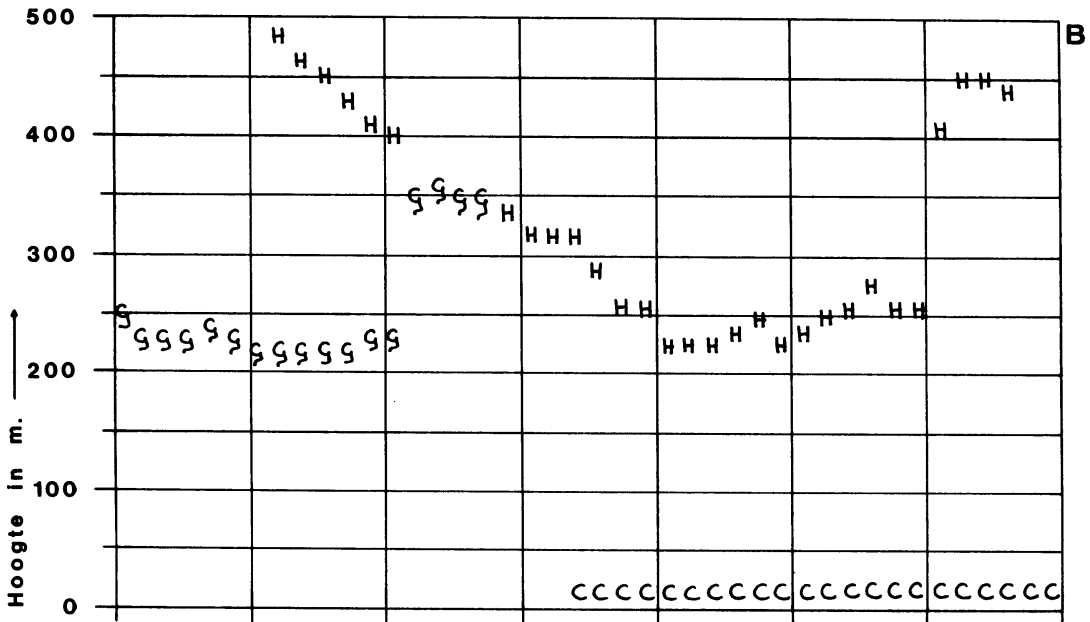
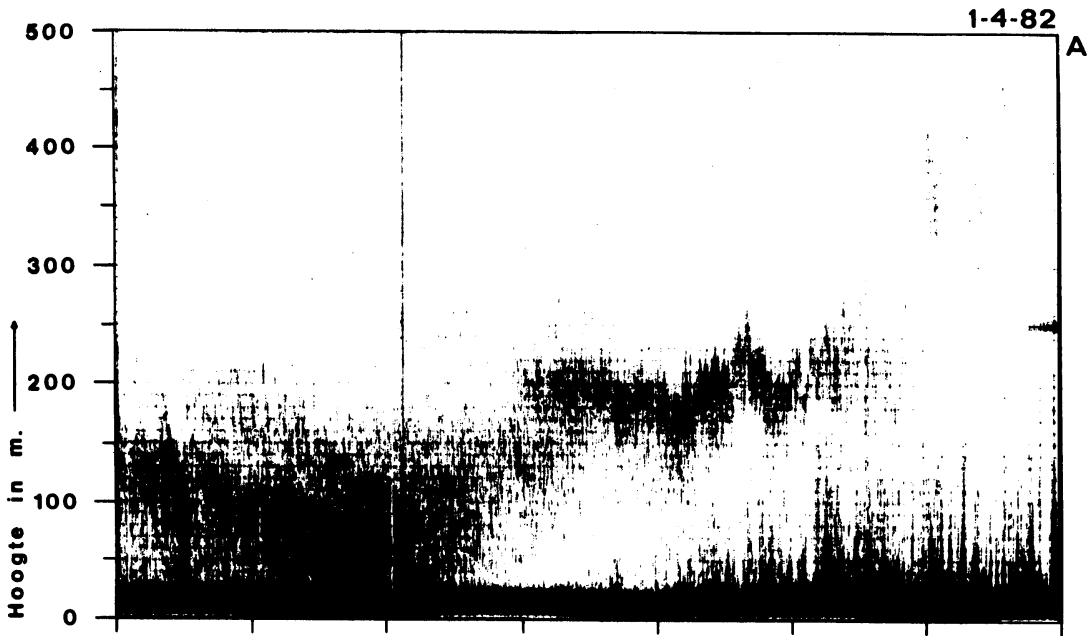


Fig.5

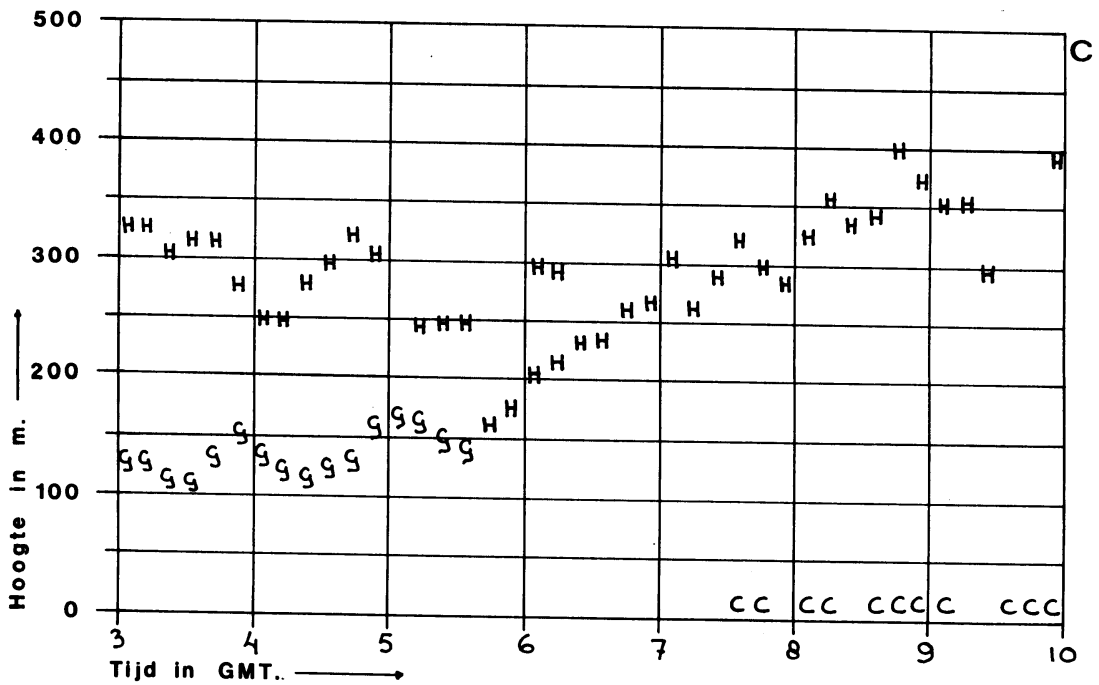
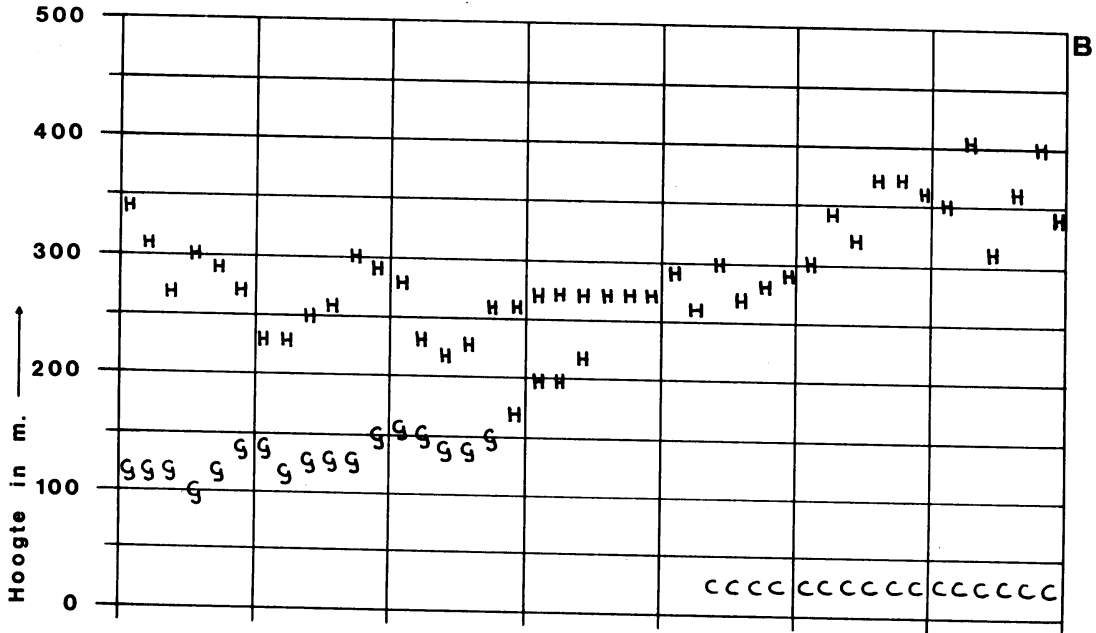
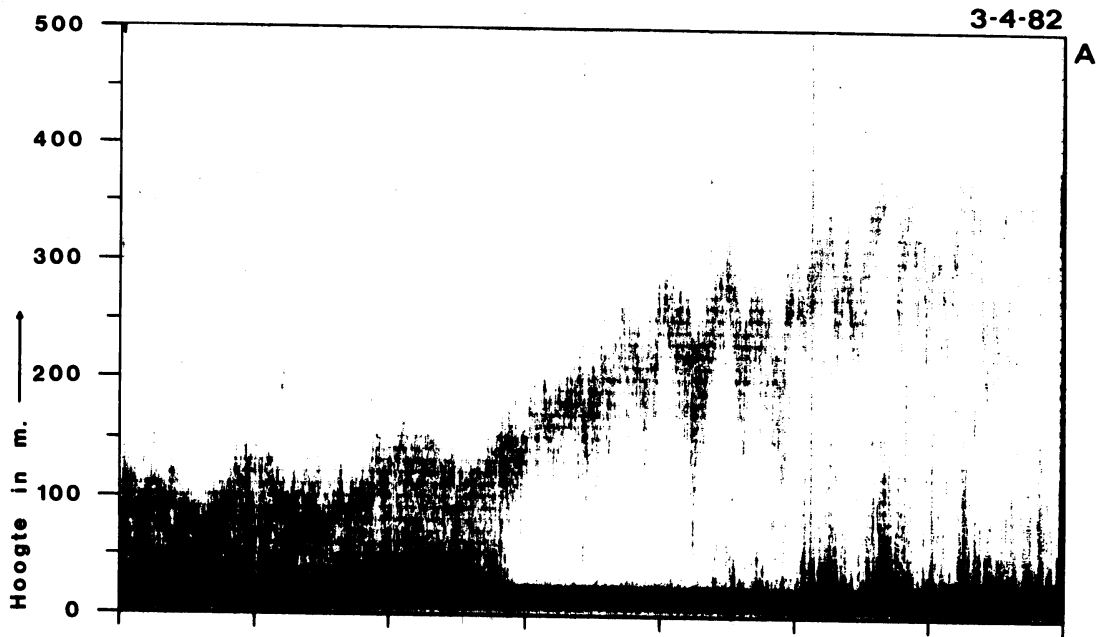


Fig.6

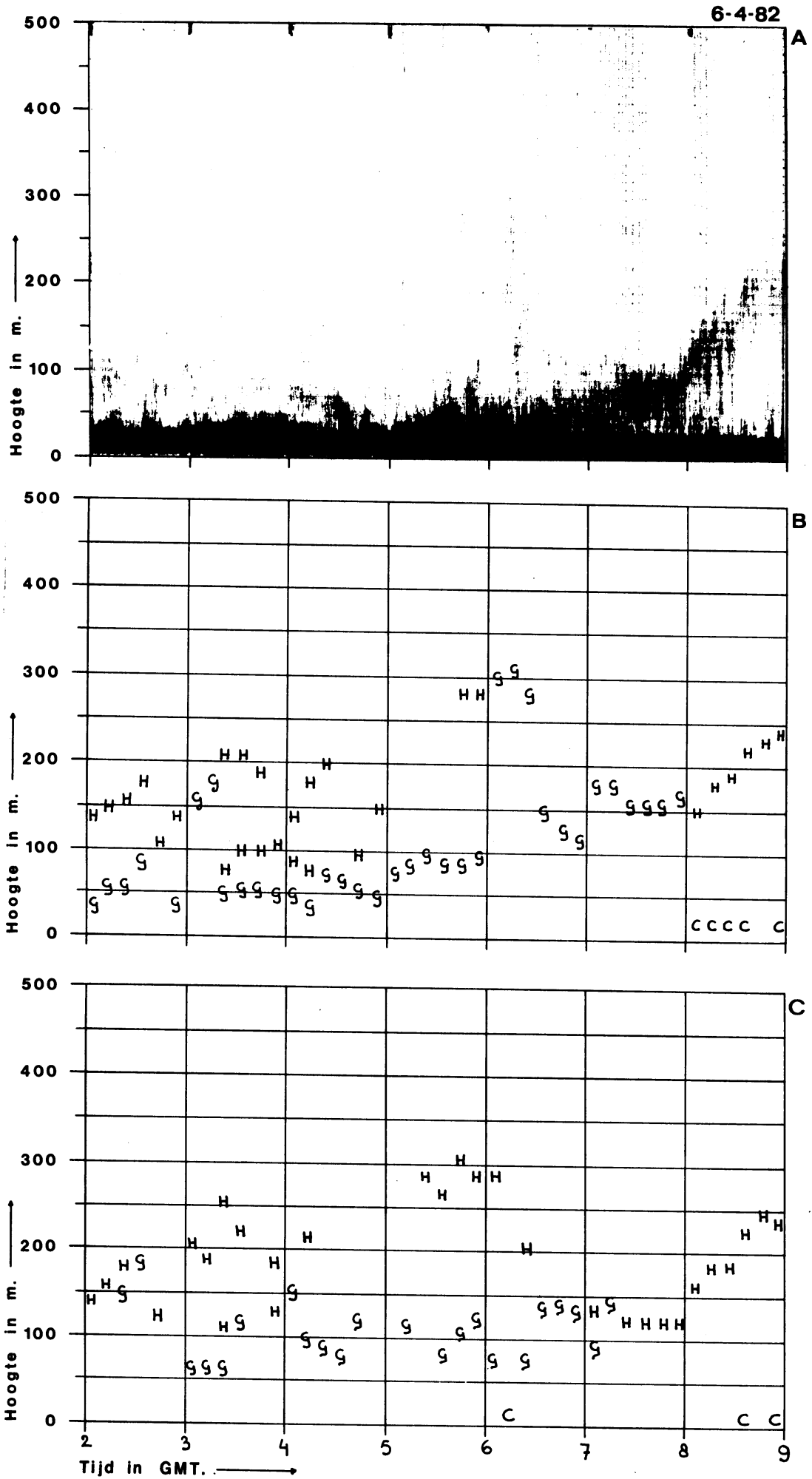


Fig.7



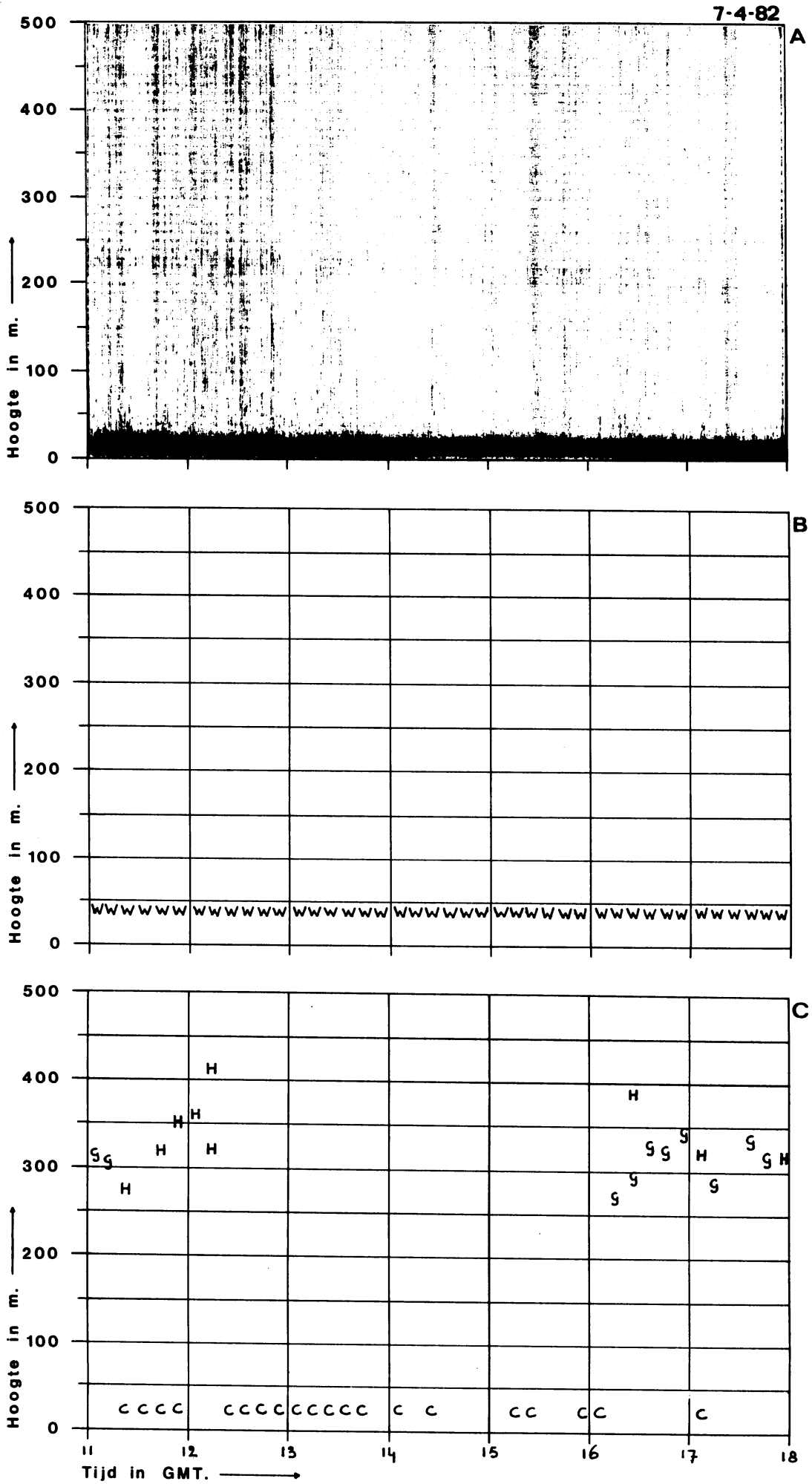


Fig.8

**5. LITERATUUR**

- Neff, W.D. (1975). Quantitative evaluation of acoustic echoes from the planetary boundary layer. NOAA TR ERL 322-WPL 38, Boulder, Co.
- Smallegange, C., Stienstra, N.C. en Smeenk, W. (1982). Sodar Doppler meting, KEMA rapport III-3553/82, Arnhem.
- Steenkist, R. (1982). Digitale signaalverwerking bij een sonische radar, KEMA rapport 3345/82, Arnhem.

## APPENDIX A PARAMETER SETTINGS

De sodar heeft een aantal instelmogelijkheden met consequenties voor parameter settings in de detektiesoftware. De meeste parameters worden nooit veranderd en zijn daarom vast opgenomen in COMMON DATA BLOCK BLKDAT in de subroutine file RTNINV.FTN. Wanneer de lengte van de zendpuls of de timing van de rampstart veranderd wordt, moet ook dit parameterblok aangepast worden. Een uitzondering is de "sensitivity"-instelling, die via YK3 doorgegeven wordt aan de software.

Een aantal parameters hangt samen met de criteria voor de detektie van inversies. Ze zijn geoptimaliseerd voor de huidige configuratie. Bij wijziging van het meetsysteem is opnieuw optimalisatie nodig.

Het COMMON BLOCK BLKDAT heeft de volgende parameters:

naam	huidige waarde	beschrijving of symbool in dit rapport	wijzigen bij verandering van
IMIN	5	laagst bruikbare j	-
IMAX	49	jmax	-
Q	-2	q (rampstart index)	instelling sodar
S	10	sensitivity	automatisch (YK3)
C	338	geluidssnelheid	-
CONVDR	10	min. CT op j=ICONV voor conv.	-
ICONV	8	j-meetniveau t.b.v. SS	-
CTDR	5	min. CT onder inversie	-
DT	0.1	dt (sample interval tijd)	-
DTAU	0.1	$\Delta\tau$ (lengte zendpuls)	instelling sodar
CTADR	0.25	min. dCT/dZ voor inversie	-