

# Inhoud

## 12/13 Bovenluchtmetingen

- 1. Beschrijving 12/13 - 1
    - 1.1 Inleiding 12/13 - 1
    - 1.2 Definities 12/13 - 2
    - 1.3 Eenheden 12/13 - 2
    - 1.4 Code TEMP 12/13 - 3
  - 2. Operationele eisen 12/13 - 5
    - 2.1 Bereik, resolutie en nauwkeurigheid in verband met berichtgeving 12/13 - 5
    - 2.2 vereiste waarneemfrequentie 12/13 - 5
    - 2.3 vereiste data aanwezigheid per specifieke periode 12/13 - 5
  - 3. Instrumenten en techniek 12/13 - 7
    - 3.1 Techniek en specificaties 12/13 - 7
      - 3.1.1 Radiosond 12/13 - 7
      - 3.1.2 Ozonmeting 12/13 - 8
      - 3.1.3 Doppler radar windprofielen 12/13 - 9
      - 3.1.4 SODAR 12/13 - 11
      - 3.1.5 AMDAR 12/13 - 13
    - 3.2 onderhoud- en calibratieprocedures 12/13 - 17
  - 4. Procedures 12/13 - 19
    - 4.1 Procedures bij uitval 12/13 - 19
    - 4.2 Procedures voor achteraf validatie 12/13 - 19
    - 4.3 Procedures voor inspectie 12/13 - 19
  - 5. Herleiding parameters 12/13 - 21
  - 6. Opstellingseisen en omgevingscondities 12/13 - 27
- Referenties 12/13 - 29
- Bijlage I: TEMP-code 12/13 - 31
- Bijlage II: AMDAR-code 12/13 - 35
- Bijlage III: Gegevens ballonnen en radiosondes 12/13 - 37





# 12/13 Bovenluchtmetingen

## 1. Beschrijving

### 1.1 Inleiding

Regelmatige en veelvuldige bepaling van de luchtdruk, temperatuur, relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting in de hogere luchtlagen (tot meer dan 17 kilometer hoogte) is van belang voor de beschrijving van de atmosfeer. In dit verband voert het KNMI meteorologische metingen uit. Daartoe wordt in De Bilt tweemaal per dag, rond 00.00 en 12.00 UTC, een radiosonde aan een ballon opgelaten.

Door middel van deze radiosonde oplatingen wordt een proces van aerologische metingen en datatransmissie op gang gebracht ten behoeve van de beschrijving van het verticale profiel van temperatuur, relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting in een kolom lucht boven het aardoppervlak. Genoemde variabelen worden in dit profiel afgezet tegen de atmosferische druk. De meetwaarden worden tevens gebruikt om allerlei parameters af te leiden die een essentieel hulpmiddel zijn voor de meteoroloog om direct inzicht te krijgen in de mate van (on-)stabiliteit van de atmosfeer. De waarde van dergelijke parameters (of indices) bepaalt dan de kans op bijvoorbeeld onweer, buien en zware windstoten. Eenmaal per week, te weten iedere donderdag 12.00 UTC, wordt een speciale radiosonde met ozondetector opgelaten. Aldus kan op grote hoogte het ozongehalte in de atmosfeer worden gemeten.

Vanaf 31 januari 2004 worden door het KNMI de bovenlucht gegevens, windsnelheid en windrichting, tevens afgeleid met behulp van de informatie uit de weerradar. Het Instituut beschikt over twee Doppler radarsystemen (De Bilt, Den Helder), die al vele jaren worden gebruikt om neerslag te volgen. Er zijn nu methodieken ontwikkeld die het mogelijk maken om met de weerradar ook operationeel de windsnelheid en -richting te bepalen op verschillende hoogtes in de bovenlucht.

Zowel in het gebied rond Den Helder als De Bilt maakt de radar ieder kwartier een dwarsdoorsnede van het windverloop met de hoogte. Het frequent beschikbaar komen van deze gedetailleerde windinformatie is van groot belang in het geval van gevaarlijk weersituaties, zoals bij storm en kans op (zware) windstoten tijdens buien, alsmede (in het geval van Den Helder) voor de detectie en beschrijving van zeewind aan de kust.

Op luchthaven Schiphol functioneert specifiek voor de lokale berichtgeving een instrument (SODAR), dat het verticale windprofiel detecteert tot een hoogte van enkele 100 meters boven het aardoppervlak.

Via de automatische meteorologische metingen in vliegtuigen wordt kwalitatief hoogwaardige data met betrekking tot de bovenlucht verkregen. In het bijzonder gaat het hierbij om de metingen van de variabelen windsnelheid (horizontaal, verticaal), windrichting, atmosferische druk en luchttemperatuur. De meetgegevens worden via een internationaal telecommunicatienetwerk doorgegeven aan de meteorologische instituten, waaronder het KNMI. Het verzendsysteem wordt aangeduid met Aircraft Meteorological DATA Relay (AMDAR). Op basis van de data kan een verticaal profiel van de atmosfeer worden gemaakt. De aldus verkregen informatie is in toenemende mate van

operationeel belang voor de weerberichtgeving, in het bijzonder ook voor de luchtvaart.

Naast bovengenoemde meettechnieken zijn nieuwe methodes in ontwikkeling die op afzienbare termijn een operationele rol gaan vervullen in het kader van de beschrijving van de bovenlucht. In dit verband kunnen de windprofilers genoemd worden. Voorts kunnen de meetgegevens van GPS benut worden om inzicht te krijgen in de verticale opbouw van de atmosfeer, in het bijzonder ten aanzien van luchtvochtigheid. Genoemde technieken zijn nog niet operationeel geïmplementeerd in het meetnet van het KNMI en vallen derhalve vooralsnog buiten het kader van dit handboek.

## 1.2 Definities

Literatuur: ref. 1 t.m. 4

- a. *Radiosonde*: een instrument, dat met behulp van een ballon opstijgt in de atmosfeer en dat uitgerust is met instrumenten ten behoeve van metingen van de meteorologische variabelen luchtdruk, luchttemperatuur en relatieve vochtigheid. Het instrument bevat tevens een radiozender ten behoeve van de transmissie van alle relevante data met betrekking tot genoemde variabelen naar het bijbehorende meteorologische station op het aardoppervlak.
- b. *Radiosonde waarneming*: de waarneming van de meteorologische variabelen luchtdruk, luchttemperatuur en relatieve vochtigheid in de bovenlucht door middel van een radiosonde.
- c. *Radiosonde station*: het meteorologisch station op het aardoppervlak waar de waarnemingen van de meteorologische variabelen luchtdruk, luchttemperatuur en relatieve vochtigheid in de bovenlucht door middel van elektronische hulpmiddelen worden geregistreerd.
- d. *Pilot waarneming*: bepaling van de upper air wind door middel van het volgen van het spoor van de ballon met behulp van optische middelen (niet meer van toepassing voor het KNMI);
- e. *Radiowind waarneming*: bepaling van de upper air wind door middel van het volgen van het spoor van de ballon met behulp van elektronische middelen;
- f. *Rawinsonde waarneming*: een gecombineerde radiosonde en radiowindwaarneming; van toepassing voor het KNMI;
- g. *Dopplerradar*: de werking van de Dopplerradar is gebaseerd op het Dopplereffect. De natuurkundige Johann Christian Doppler beschreef in 1842 het principe dat een door een bron uitgezonden trilling anders wordt waargenomen als de bron zich ten opzichte van de waarnemer beweegt.

## 1.3 Eenheden

Zie ref. 1. en 5.

De gebruikte eenheden zijn conform het internationale stelsel van eenheden (SI) (ref.5):

- *Luchtdruk*: de SI-eenheid voor druk is Pa (=pascal). In de meteorologie wordt luchtdruk uitgedrukt in hectopascal(hPa).  
 $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ ;  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$   
(N staat voor Newton:  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$ ); (zie ook Hoofdstuk 3 van dit handboek)



- *Temperatuur*: de erkende eenheid volgens SI voor de thermodynamische temperatuur is kelvin (K). Deze eenheid is gedefinieerd als de fractie  $1/273,16$  van de temperatuur van het tripel punt van water. Naast de thermodynamische temperatuur (=T, ook wel kelvintemperatuur genoemd) kent men de grootheid celsiustemperatuur t. De erkende SI- eenheid daarvoor is de graad Celsius, symbool °C, die gelijk is aan de kelvin. De celsiustemperatuur is gedefinieerd als het verschil  $t = T - T_0$ , waarbij  $T_0 = 273,15$  K. Dus:  
 $t$  (°C) =  $T$ (/K) - 273,15. (zie ook Hoofdstuk 2 van dit Handboek)
- *Relatieve vochtigheid*: de eenheid voor relatieve vochtigheid is procent (%); de relativiteit betreft de verhouding ten opzichte van de situatie met verzadigde dampspanning boven wateroppervlak, inclusief bij temperaturen  $< 0$  °C; (zie ook Hoofdstuk 4 van dit Handboek)
- *Geopotentiele hoogte*: de loodrechte afstand van de waarneming in de atmosfeer ten opzichte van het aardoppervlak in geopotentiele meters ( $\Rightarrow 1$  geopotentiele meter =  $0,980665$  dynamische meter);
- *Wind*: de erkende eenheid volgens SI voor de windsnelheid: m/s {in sommige luchtvaartmeteorologische toepassingen wordt de eenheid “knoepen” (engels: knots of kts.) gebruikt: 1 knoop = 1 zeemijl per uur =  $1852$  m /  $3600$  s =  $0,514444$  m/s.}; de erkende eenheid volgens SI voor de windrichting: booggraden. (zie ook Hoofdstuk 5 van dit Handboek)

#### 1.4 Code TEMP

In de (inter-)nationale berichtgeving wordt een selectie van de per radiosondeoplating ontvangen bovenluchtdata temperatuur, relatieve vochtigheid, atmosferische druk, windsnelheid en windrichting verspreid in gecodeerde vorm. Het totale pakket aan gecodeerde data per oplating wordt “TEMP” genoemd. TEMP-code: zie bijlage I. De gedetailleerde codebeschrijving van de TEMP maakt deel uit van het KNMI - Handboek Meteorologische Codes. Daarnaast wordt verwezen:

<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm>

Handboek Meteorologische Codes  $\Rightarrow$  Internationale codes  $\Rightarrow$  TEMP (document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000 (ref.19);

Per radiosonde-oplating wordt een selectie van de TEMP-data opgeslagen en gearhiveerd in het Klimatologisch Informatiesysteem KIS. De selectie betreft deel A (standaardniveaus, tropopauze niveaus en maximum windniveaus) en deel B (karakteristieke niveaus).

De gearhiveerde TEMP-data in KIS is als volgt:

##### a. Elementen van de standaarddrukvlakken

PP<sub>ns</sub> : luchtdruk (hPa)  
HH<sub>ns</sub> : hoogte tov MSL (m)  
TT<sub>ns</sub> : temperatuur (0,1 °C)  
TD<sub>ns</sub> : dauwpuntstemperatuur (0,1 °C)\*  
DD<sub>ns</sub> : windrichting (booggraden)  
FF<sub>ns</sub> : windsnelheid (m/s)

ns: indicator voor standaarddrukvlak:

- ns = 1  $\Rightarrow$  1000 hPa,
- ns = 2  $\Rightarrow$  900 hPa,
- ..
- ns = 10  $\Rightarrow$  100 hPa.

\* berekend uit temperatuur en relatieve vochtigheid (zie. H.4)

*b. Elementen regionale groepen (cf. blok 06 WMO)*

PP<sub>nr</sub> : luchtdruk (hPa)  
DD<sub>nr</sub> : windrichting (booggraden)  
FF<sub>nr</sub> : windsnelheid (m/s)

nr: indicator voor regionaal vastgestelde drukvlak:

- nr =1 => 900 hPa,
- nr = 2 => 800 hPa,
- nr =3 => 600 hPa.

*c. Elementen van karakteristieke temperatuurniveaus (d.i. significant omslagpunt temperatuur c.q. dauwpuntstemperatuur)*

PP<sub>nt</sub> : luchtdruk (hPa)  
TT<sub>nt</sub> : temperatuur (0,1 °C)  
TD<sub>nt</sub> : dauwpuntstemperatuur (0,1 °C)\*

nt =1 t/m n (n ≤ 30)

\* berekend uit temperatuur en relatieve vochtigheid (zie. H.4)

*d. Elementen van karakteristieke windniveaus (d.i. significant omslagpunt windrichting c.q. windsnelheid)*

PP<sub>nw</sub> : luchtdruk (hPa)  
DD<sub>nw</sub> : windrichting (booggraden)  
FF<sub>nw</sub> : windsnelheid (m/s)

nw =1 t/m n (n ≤ 30)

*e. Elementen van de tropopauze niveaus*

PP<sub>n</sub> : luchtdruk (hPa)  
TT<sub>n</sub> : temperatuur (0,1 °C)  
TD<sub>n</sub> : dauwpuntstemperatuur (0,1 °C)\*  
DD<sub>n</sub> : windrichting (booggraden)  
FF<sub>n</sub> : windsnelheid (m/s)

n =1 t/m 4

\* berekend uit temperatuur en relatieve vochtigheid (zie. H.4)

*f. Elementen van de maximum windniveaus (d.i. niveau waarbij windsnelheid boven 30 m/s komt)*

PP<sub>n</sub> : luchtdruk (hPa)  
DD<sub>n</sub> : windrichting (booggraden)  
FF<sub>n</sub> : windsnelheid (m/s)  
VA<sub>n</sub> : absolute waarde van het verschil tussen windsnelheid op onderhavige niveau en de windsnelheid op 1000 m boven dit niveau (m/s)  
VB<sub>n</sub> : absolute waarde van het verschil tussen windsnelheid op onderhavige niveau en de windsnelheid op 1000 m onder dit niveau (m/s)

n =1 t/m 4

(ref 6)

## 2. Operationele eisen

### 2.1 Bereik, resolutie en nauwkeurigheid in verband met berichtgeving

Onderstaande WMO-tabel (Ref. 1, Chapter 12, annex 12.A. Accuracy requirements (standard error) for upper air measurements for synoptic meteorology, interpreted for conventional upper air and wind measurements) is mede van toepassing voor de KNMI-bovenluchtmetingen.

<i>Variabele</i>	<i>gebied</i>	<i>vereiste nauwkeurigheid</i>
Druk	oppervlak tot 5 hPa	$\pm 1$ hPa
Temperatuur	oppervlak tot 100 hPa	$\pm 0,5$ K
	100 - 5 hPa	$\pm 1$ K
relatieve vochtigheid	troposfeer	$\pm 5$ % (RV)
Windrichting	oppervlak tot 100 hPa	$\pm 5$ booggr. (bij $<15$ m/s), $\pm 2, 5$ booggr. (bij $\geq 15$ m/s)
	100 - 5 hPa	$\pm 5$ booggr.
Windsnelheid	oppervlak tot 100 hPa	$\pm 1$ m/s
	100 - 5 hPa	$\pm 2$ m/s
Geopot. hoogte van sign. niveau	oppervlak tot 100 hPa	$\pm 1$ % bij het aardoppervlak oplopend tot $\pm 0,5$ % op 100 hPa

### 2.2 Vereiste waarneemfrequentie

Tweemaal per dag: rond 00 en rond 12 UTC vindt een radiosonde oplating plaats. Het tijdstip van oplating is ca. 40 minuten voor 00.00 UTC c.q. 12.00 UTC. Aldus zal de ballon met radiosonde zich rond het tijdstip 00.00 UTC c.q. 12.00 UTC bevinden op ca. 15 km. hoogte. Dan is de TEMP compleet en kunnen de gegevens gedistribueerd worden. Luchtdruk,temperatuur en relatieve vochtigheid worden gedurende de gehele oplating eenmaal per 1,25 seconde gemeten. De positie ten behoeve van de berekening van windsnelheid en windrichting wordt gedurende de gehele oplating eenmaal per 10 seconden bepaald. Het grondstation in De Bilt verwerkt deze gegevens tot een binaire dataset.

### 2.3 Vereiste data aanwezigheid per specifieke periode

Het genereren van een TEMP vereist in principe een 100% beschikbaarheid van alle betrokken bovenluchtgegevens. Deze beschikbaarheid is natuurlijk afhankelijk van de correcte ballonoplating en het adequate functioneren van de radiosonde. Een en ander valt onder de verantwoordelijkheid van WM/OD. De 2-maal daagse oplating is door deze afdeling uitbesteed aan de afdeling Centrale Weerkamer CWK van de Sector WA.





## 3. Instrumenten en techniek

### 3.1 Techniek en specificaties

#### 3.1.1. Radiosonde

Onderstaande informatie is ontleend aan KNMI-documentatie:

<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/aerologie/radiosonde.htm>

- ⇒ Aërologische waarnemingen met behulp van een radiosonde , R.Rothe, KNMI/WM/OD, juli 1998;
- ⇒ Geschiedenis van de Radiosonde in Nederland, R.Rothe, KNMI/WM/OD, januari 2001

#### *Instrumenten in radiosonde<sup>1</sup>*

De radiosonde bevat drie meetinstrumenten:

1. Een aneroïde-barometer voor het meten van de luchtdruk. De vormverandering van de drukdoos wordt langs mechanische weg omgezet in capaciteitsverandering van een condensator.
2. Een condensator voor het meten van de luchttemperatuur. Aangezien de diëlectrische constante afhankelijk is van de temperatuur, worden temperatuursveranderingen omgezet in capaciteitsveranderingen van de condensator.
3. Een duo condensatoren voor het meten van de relatieve vochtigheid. In het diëlectricum van de condensator wordt waterdamp uit de lucht geabsorbeerd, zodat vochtigheidsveranderingen worden omgezet in capaciteitsveranderingen van de condensator. Het duo alterneert in gebruik. Aldus kan in één condensator het neergeslagen vocht worden verdampt, terwijl de andere condensator de operationele sensor is.

Achtereenvolgens wordt elk van deze drie condensatoren opgenomen in een elektrische schakeling. Deze wekt een trilling op waarvan de frequentie bepaald wordt door de capaciteit van de condensator en dus door respectievelijk luchtdruk, temperatuur en luchtvochtigheid. Met behulp van een zendertje, dat in de sonde is ingebouwd, worden deze signalen doorgegeven naar de signaalontvanger die deel uitmaakt van het grondstation.

#### *Plaatsbepalingssysteem ten behoeve van windmeting<sup>2</sup>*


De gegevens windrichting en windsnelheid worden middels het LORAN-C (LongRangeNavigation) plaatsbepalingssysteem verkregen.

---

<sup>1</sup> Op 3 januari 2001 is begonnen met de nieuwe Finse Radiosonde type, RS90-AL. Nieuwe snellere sensoren, meting voorheen om de 1,25 sec nu per seconde. Geen styrofoam als behuizing maar papier en metaal, de batterij bevat geen toxise bestanden. Milieu vriendelijk.

- F-THERMOCAP; temperatuur sensor, snel, accuraat en minimale stralings fout.
- Heated HUMICAP : verwarmde vochtigheid sensor, snel , geen condens en ijs meer.
- Silcon BAROCAP druk sensor, schok bestendig, met snelle temperatuur reactie.

<sup>2</sup>LORAN-C heeft bijna afgedaan. De participanten, Duitsland, Denemarken en Nederland, hebben zich in 2004 uit het verdrag terug getrokken en dragen niet meer financieel bij aan het onderhoud van de zenders. Indien Noorwegen stopt met het in stand houden van de noordelijke zenders, zullen Ierland, Engeland en mogelijk ook Oostenrijk geen windgegevens meer krijgen voor de TEMP. De Fransen proberen de Noren nog te overhalen door te gaan. Heeft dit overleg geen succes, dan is het voorbij voor veel betrokken landen. Het KNMI laat het systeem spoedig met GPS functioneren. Eea is reeds in de KNMI-begroting voor 2006 opgenomen.



LORAN-C is een wereldwijd (noordelijk halfrond) plaatsbepalingssysteem dat gebruikt maakt van zenders die pulsen in de 90 - 110 kHz frequentie band uitzenden. De zenders worden weer verdeeld in 'Chains' (ketens). Elke 'Chain' bestaat uit tenminste 3 zendstations.

De LORAN-C methode maakt gebruik van de signalen van 2 Chains en tot 12 zenders gelijktijdig. Elke combinatie van tenminste 3 tot 4 zenders is voldoende voor een peiling.

Het dekkingsgebied van een Chain is afhankelijk van diens zendvermogen, de afstand tussen de Chains (master/slave) en de geometrische ligging.

In de radiosonde is een LORAN-C ontvanger ingebouwd en gekoppeld aan het radiozendertje. Informatie over de ontvangst wordt doorgegeven naar het grondstation. Op deze wijze kan op elk moment de positie van de radiosonde worden bepaald. Uit de achtereenvolgende positieveranderingen kunnen de windrichting en -snelheid op een bepaalde hoogte worden berekend. Die horizontale positieverandering wordt immers uitsluitend door de wind veroorzaakt.

#### *Verwerking gegevens door grondstation*

Het grondstation in De Bilt bestaat uit een ontvanger en uit elektronische randapparatuur, incl. computer, voor de berekening en verwerking van de radiosondegegevens, alsmede voor de omzetting van de gegevens in een codebericht TEMP. Dat bericht wordt na afloop van de opstijging nationaal en internationaal verspreid. Het radiosonde data formaat is binaire-code.

#### *Ballon*

De radiosonde wordt aan een ballon opgelaten. De ballonnen zijn gemaakt van een materiaal dat bestand is tegen zeer lage temperaturen (< -75° Celsius) en de op grote hoogte heersende lage luchtdruk (bijv. natuurrubber, chloroprene of een speciale latex component). De ballonnen worden in de vulhut op het KNMI achterterrein gevuld met heliumgas. De stijgsnelheid bedraagt ongeveer 5 à 6 meter per seconde, afhankelijk van het vulgewicht. Er worden, afhankelijk van het soort ballon, hoogten bereikt van 17 tot 35 kilometer. {zie: WMO no.8, *Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, Part II, Observing systems, chapter 10, Balloon Techniques, WMO, Genève, 1996; ihb par.10.2.2, balloon performance, ref.11}*

Na het springen van de ballon komt het geheel aan een parachute (om de valsnelheid te beperken) naar beneden en wordt niet meer hergebruikt.

Meer details in bijlage III

#### *3.1.2 Ozonmeting*

Iedere week wordt op donderdag 12.00 UTC ten behoeve van het internationale atmosferisch ozononderzoek een gecombineerde radio- en ozonsonde opgelaten. De instrumenten in de ozonsonde meten de hoeveelheid ozon op de diverse hoogtes. De ozonsonde bestaat uit de ozonsonde sensor model 6A ECC (Electrochemical Concentration Cell), een pompje om de lucht (met ozon) aan te zuigen en een Interface. De radiosonde is uitgerust met een Interface-verbinding naar de ozonsonde.

De pomp zuigt de buitenlucht aan en voert deze door de ECC-ozonsensor. Vervolgens vindt er een reactie plaats waarbij de grootheden via de Interface aan de radiosonde worden doorgegeven. Deze zendt de informatie vervolgens met de eigen gegevens (zie boven) naar het ontvangstation van het KNMI in De Bilt. Daar wordt de data verwerkt en gedistribueerd naar de diverse gebruikers, o.a. de afdeling Atmosferische Samenstelling AS van de KNMI-sector Klimaatonderzoek en Seismologie KS.

<http://www.knmi.nl/onderzk/index-nl.html>

### 3.1.3 Doppler radar windprofielen

De weerradar is alom bekend vanwege zijn vermogen om op afstand neerslag te detecteren met een hoge ruimtelijke resolutie en een hoge tijdsresolutie. Neerslaggegevens worden verkregen door middel van de radarmetingen van via hydrometeoren (druppels, sneeuwvlokken, hagelkorrels, etc) gereflecteerde signalen. Het gebruik is velerlei, waaronder monitoren van gevaarlijke weer (trekrichting en intensiteit buien), alsmede hydrologie. Een groot deel van de weerradars in Europa, waaronder die van het KNMI (C-band Doppler weerradars van Gematronik GmbH in De Bilt en Den Helder) is in staat om dankzij bovengenoemde signalen ook Doppler metingen te verrichten. De Doppler techniek maakt het mogelijk gegevens met betrekking tot de (bovenlucht-) wind te extraheren uit de beweging van de hydrometeoren. Omdat de signaal-golfenlengte is geoptimaliseerd ten behoeve van neerslagdetectie, zal in principe geen windinformatie kunnen worden gegenereerd als er geen sprake is van neerslag. Overigens kunnen soms toch (zwakke) reflectiesignalen worden ontvangen via grensvlakken in de atmosfeer, gradiënten in de vochtigheid of via grote wolkendeeltjes.

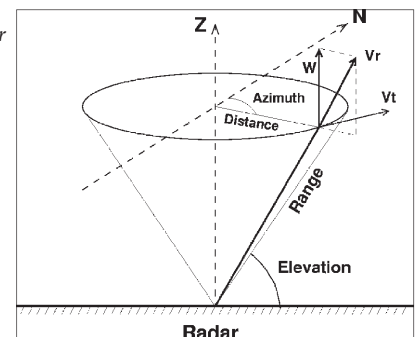
De radar wind profielen kunnen worden verkregen dankzij de implementatie van het Volume Velocity Processing algoritme in het radarsysteem (ref.8). Dit algoritme vereist in principe de aanwezigheid van hydrometeoren (zie boven). Tevens wordt een lineair windmodel verondersteld. Op basis van de gedetecteerde informatie kan de radiële wind worden berekend voor alle punten in een laag gecentreerd op hoogte  $z_0$  ten opzichte van de radar als functie van de afstand, azimuth en elevatie.

#### Literatuur:

1. Doppler radar wind profiles, Iwan Holleman, KNMI Scientific Report WR-2003-02, De Bilt, 2003; (ref.8)
2. Upper air wind measurements by weather radar, I. Holleman, H. Benschop, and J. van der Meulen, paper WMO Technical Conference TECO-2005, Boekarest, mei 2005; (ref.25)
3. Quality control and verification of weather radar wind profiles, I. Holleman, J. Atmos. Ocean. Technol., 2005. (ref.26)

Doppler radars verrichten volume scans, dmv reflectiviteit, ter bepaling van de radiële windsnelheidsgegevens als functie van range, azimuth en elevatie. Zie figuur 1.

Figuur 1. Scan doppler radar



Het lineaire windveld (U,V,W) in de nabijheid van de radar (radar:  $x = 0$  and  $y = 0$ ) kan als volgt worden weergegeven:

$$U(x,y,z) = u_0 + x \frac{du}{dx} + y \frac{du}{dy} + (z-z_0) \frac{du}{dz}$$

$$V(x,y,z) = v_0 + x \frac{dv}{dx} + y \frac{dv}{dy} + (z-z_0) \frac{dv}{dz}$$

$$W(x,y,z) = w_0 + (z-z_0) \frac{dw}{dz}$$

De radiële snelheid kan als volgt geschreven worden:

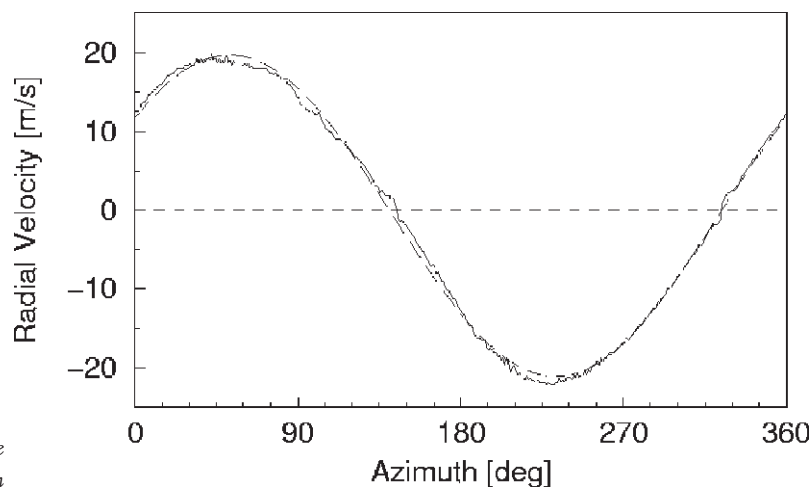
$$V_{\text{radial}}(\varphi) = (w_0 + W_{\text{final}}) \sin(\theta) + u_0 \cos(\theta) \sin(\varphi) + v_0 \cos(\theta) \cos(\varphi)$$

$W_{\text{final}}$ : verticale snelheid hydrometeoren door zwaartekracht

azimuth:  $\varphi$

elevation:  $\theta$

Bij scan met constante range en elevatie krijgt de radiële wind als functie van de azimuth  $\varphi$  de vorm van een sinus. Zie figuur 2.



Figuur 2. Radiële wind als functie van de azimuth

De windsnelheid en -richting kunnen bepaald worden uit de amplitude and de fase, door ontleding van de sinus. Deze techniek is genoemd Velocity-Azimuth Display (VAD), en werd geïntroduceerd door R. Lhermitte (1961) (ref.23), and K. A. Browning and R. Wexler (1968) (ref.24). In plaats van het berekenen van één enkele VAD per hoogte en vervolgens een serie VAD's te ontwikkelen, is het ook mogelijk om een directe berekening te maken op basis van alle beschikbare volume gegevens in een bepaalde laag. Deze zogeheten Volume Velocity Processing techniek (VVP) is ontwikkeld door P. Waldteufel en H. Corbin (1979). ref.9. Met behulp van de bovenbeschreven vergelijkingen voor het lineaire wind model kan de radiële wind worden berekend voor alle punten in een laag gecentreerd op hoogte  $z_0$  als functie van Range (R), azimuth ( $\varphi$ ) en elevatie ( $\theta$ ). Via een multi-dimensionale en een multi-parameter lineaire fit, kunnen hieruit de parameters van het lineaire windveld worden geëxtraheerd.

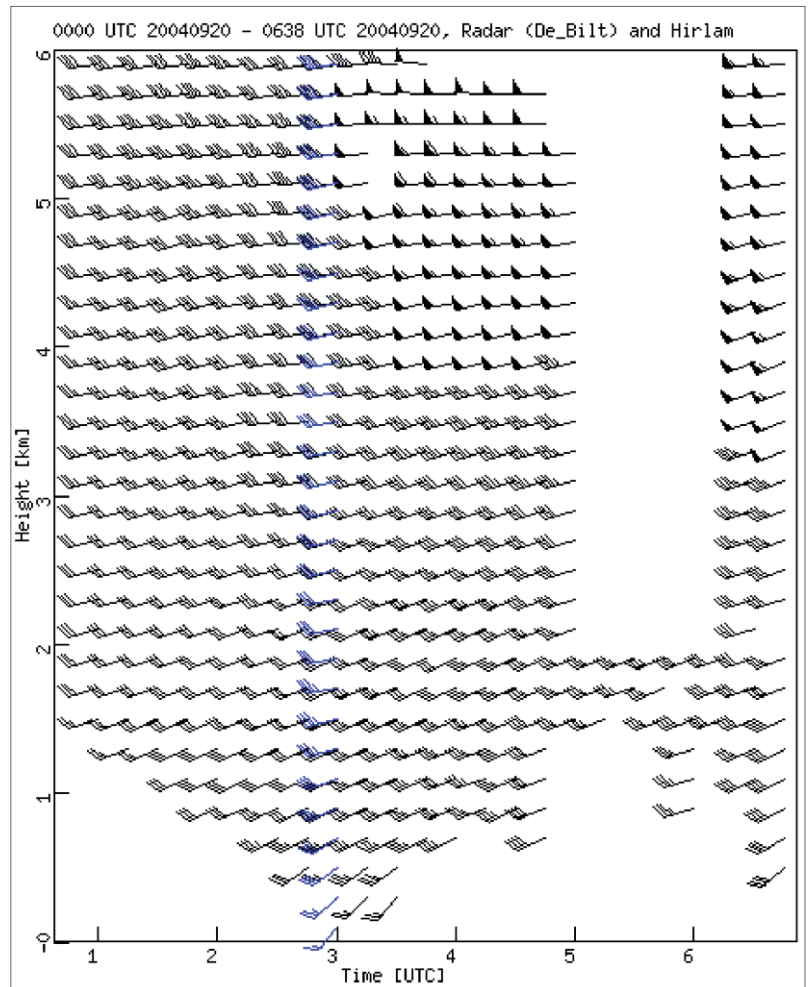
De VVP- techniek is bij uitstek geschikt voor de databerekening in dunne lagen op successievelijke hoogtes ten behoeve van de bepaling van het windprofiel.

De radarsystemen in De Bilt en in Den Helder voeren iedere 15 minuten een Doppler volume scan uit, waaruit het windprofiel wordt geëxtraheerd met behulp van het genoemde VVP algoritme. De windprofielen worden verzameld en gepresenteerd in tijd – hoogte diagrammen. Deze diagrammen bieden een “on-line monitoring” van het heersende windveld.

Tevens worden aldus real time windveranderingen zichtbaar die geassocieerd

kunnen worden met de passage van een lage c.q. hoge druksysteem of de passage van een front.

Voorbeeld van een tijd – hoogte diagram in figuur 3, waarbij ter vergelijking tevens de modelwind uit HiRLAM wordt gepresenteerd. Het Hirlam windprofiel is berekend uit de 3-uurlijkse HiRLAM analyse op het dichtstbijzijnde roosterpunt.



Figuur 3. Tijd – hoogte diagram windsnelheid en windrichting (Radar winden weergegeven met zwarte vlaggen, Hirlam winden met blauwe vlaggen)

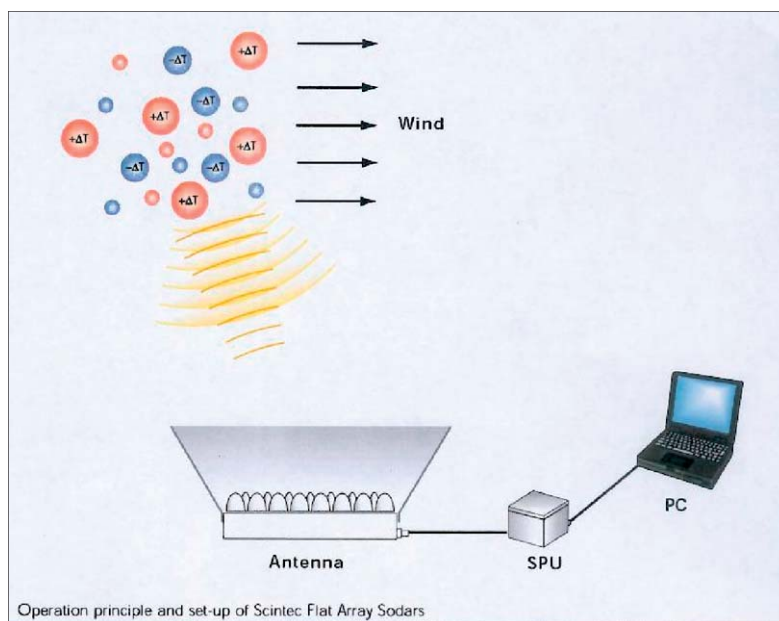
### 3.1.4 SODAR

SODAR (SOund Detection And Ranging) is een instrument dat opwaarts acoustische pulsen uitzendt. De geluidsfrequenties variëren van 1 tot 3 kHz. Op grensvlakken in verschillende luchtlagen van de atmosfeer wordt het uitgezonden signaal verstrooid en gereflecteerd. Dergelijke grensvlakken indiceren verschillen in brekingsindex tussen de luchtlagen als gevolg van wind-shear, turbulentie, verschillen in (horizontale) windsnelheid en windrichting, verschillen in stabiliteit van luchtlagen e.d. De teruggekaatste pulsen worden opgevangen met een gevoelige microfoon. (figuur 4).

De echotijd van de puls en het spectrum van het gereflecteerde signaal worden geanalyseerd (Fourier-analyse). Hiermee wordt informatie gedetecteerd met betrekking tot het verticale profiel van windvectoren.

Het signaal is vaak krachtig genoeg om door mistlagen te prikken en de echo's in hogere lagen te registreren.

Figuur 4. Principe SODAR  
basis: 145 cm  
(bron: brochure Acoustic  
Wind Profilers, Scintec)



Afhankelijk van de samenstelling van de atmosfeer (relatieve vochtigheid, neerslag) kunnen met laagfrequente golven ( $\approx 1000$  Hz) hoogtes van  $> 1000$  meter bereikt worden. De meetnauwkeurigheid wordt sterk bepaald door de atmosferische omstandigheden.

De toepassingsmogelijkheden zijn:

- Grenslaagonderzoek met betrekking tot verticale profielen van atmosferische parameters (luchtbeweging, vochtigheid, temperatuur e.d.),
- Directe berichtgeving aan de luchtvaart met betrekking tot de situatie in de onderste luchtlagen (turbulentie, down burst, windshear, mate van (on-)stabiliteit, windstoten, grote windsnelheidsverschillen, enzovoorts),
- Calamiteitenmeteorologie: verspreiding gaswolken e.d.,
- Onderzoek naar luchtkwaliteit.

Met het oog op de kwaliteit en representativiteit van de metingen, dient de SODAR gesitueerd te zijn op een locatie waar in de buurt geen noemenswaardige geluidsgolven worden gegenereerd en waar in de nabije omgeving geen obstakels staan (gebouwen, bomen, e.d) die geluid kunnen reflecteren.


Het KNMI beheert een SODAR-apparaat op luchthaven Schiphol ten behoeve van de lokale luchtvaartberichtgeving op deze luchthaven. De locatie is sinds lange tijd het AWS- meetterrein nabij touch down 18C (vroeger 19R) (zie foto, figuur 5). Inmiddels is een nieuwe plek gevonden aan de oostzijde van runway 36L – 18R (halverwege). Het SODAR instrument wordt in 2005 vervangen, en dan op een nieuwe locatie geplaatst. Uit de SODAR-data kan de Low Level Temperature Inversion worden bepaald. Deze informatie is van operationeel belang in verband met verticale windshearing en de invloed op het motorvermogen van de vliegtuigen.

Het SODAR-instrument wordt in 2005 vervangen. De resultaten van het marktonderzoek met betrekking tot verschillende opties zijn verwerkt

Figuur 5. SODAR Schiphol  
(foto Paulien van Eijf)







in “SODAR Market research, An investigation into possibilities and options regarding lower-atmosphere wind measurements for Schiphol Airport”; H.I. Bloemink; Instrumentation Division; Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI); maart 2004 (ref. 18).

Van belang bij de keuze zijn de gebruikerseisen van de luchthaven. In principe dient het apparaat windmetingen te kunnen doen in het lagere gedeelte van de atmosfeer - vanaf enkele 10-tallen meters boven het oppervlak tot 2000 à 3000 ft hoogte - met een zo groot mogelijke beschikbaarheid, speciaal ook bij regen en harde wind.

De toepasbaarheid van SODAR - instrumenten kwam ter sprake bij de discussies over windprofilers in het zogeheten COST-76 project\* (ref.17)

-----

\* COST is de afkorting van "European co-operation in the field of scientific and technical research".

### 3.1.5. AMDAR

Wereldwijd worden automatische waarnemingen van temperatuur, windsnelheden en druk, die standaard aan boord van vliegtuigen en met hoge frequentie worden verricht, doorgegeven aan de meteorologische gemeenschap. Het verzendsysteem wordt aangeduid met ' Aircraft Meteorological *DATA* Relay ', met als acroniem AMDAR. Een groot aantal (meer dan 300) Europese vliegtuigen, o.a. van de KLM, participeert in het EUMETNET-AMDAR (E-AMDAR) programma, dat zich concentreert op het verrichten van deze automatische meteorologische metingen ter verwerving van kwalitatief hoogwaardige data met betrekking tot de bovenlucht. In het bijzonder gaat het hierbij om de variabelen windsnelheid (horizontaal, soms ook verticaal), windrichting, atmosferische druk (voor de bepaling van de hoogte, berekend volgens de International Standaard Atmosfeer) en luchttemperatuur. In de toekomst wordt luchtvochtigheid toegevoegd zodra de waarneemtechniek voldoet. Ten behoeve van de meting is in de romp van de betrokken vliegtuigen een aantal sensoren gemonteerd. Frequente registratie van genoemde variabelen tijdens het opstijgen en dalen verschaft direct het verticale profiel van de atmosfeer. Genoemde vliegtuigmetingen geschieden conform internationale (WMO) richtlijnen en -specificaties (ref. 21 en 22). De gegenereerde data wordt internationaal verspreid in de zogeheten FM-42 AMDAR-code (zie bijlage) en BUFR.

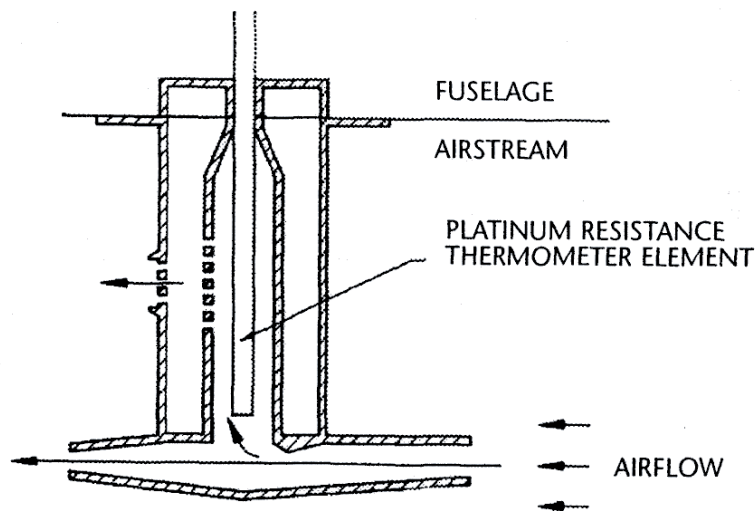
Voor E-AMDAR en ook andere luchtvlotten, zoals de Arabic AMDAR, wordt de kwaliteit van de meetdata achteraf geëvalueerd, waarbij onder meer de corresponderende modeldata van HiRLAM als referentie wordt gebruikt. Deze validatie wordt uitgevoerd door het E-AMDAR Quality Evaluation Centre QEvC, welke gehuisvest is op het KNMI. Ieder kwartaal wordt omtrent de resultaten van deze evaluatie gerapporteerd in de zogeheten “Quarterly reports of the E-AMDAR Quality Evaluation Centre on AMDAR-data”, documenten van EUMETNET+ KNMI.

De bepaling van de windvector is gecompliceerd en vereist gegevens van de volgende systemen:

- het navigatiesysteem van het vliegtuig, in welk verband ook de (meting van de) luchtdruk een cruciale rol speelt;
- het systeem ter vaststelling van de lichtsnelheid rond het vliegtuig; deze registratie geschiedt met behulp van een zogeheten Pitot statische buis;
- data van de temperatuursensor(-en).

Op basis van deze gegevens kan met een vrij hoge nauwkeurigheid de snelheid en richting van het vliegtuig ten opzichte van de aarde en van de lucht ten opzichte van het vliegtuig worden berekend. Hieruit volgt de 3-dimensionale windvector en daarmee de windsnelheid (horizontaal, verticaal) en windrichting ter plekke van het vliegtuig (ref.22).

De nauwkeurige meting van de luchttemperatuur is mede van fundamenteel belang voor de bepaling van afgeleide meteorologische parameters, in eerste instantie de windsnelheid en -richting. Als meetsensor wordt een platina weerstandsthermometer gebruikt. Deze is in de romp van het vliegtuig ingebouwd. De behuizing is zodanig dat het element goed beschermd is tegen vochtslag (van wolken). Zie figuur 6 (ref. 22).



Figuur 6, Thermometer in vliegtuigromp (uit: WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, Part II, Observing systems, chapter 3, Aircraft observations, WMO, Genève, 1996. Zie ook ref. 22, WMO-No. 985, AMDAR reference manual)

De gemeten temperatuur dient te worden herleid naar de zogeheten statische temperatuur. Dit is de temperatuurwaarde van de vrije lucht (-stroom) in de atmosfeer ter plekke van het vliegtuig. Bij deze omzetting worden thermodynamische factoren, alsmede de verhouding van de gemeten luchtdruk ten opzichte van de bepaalde luchtdruk bij ongestoorde luchtstroom gebruikt (ref.22).

De wind- en temperatuurgegevens worden middels het VHF (Very High Frequency) communicatiesysteem van het vliegtuig getransporteerd naar een internationaal telecommunicatienetwerk voor de luchtvaart en van daaruit via het GTS naar het KNMI. Voor een deel van de E-AMDAR vloot verzorgt het Met Office de codering van het FM42 AMDAR-bericht, de DWD verspreidt de BUFR gecodeerde berichten van het overige deel van de vloot.

In het KNMI is als faciliteit voor de Weerdienst een zogeheten Syntemp gerealiseerd. Dit is een verticaal atmosferisch profiel, dat ieder uur wordt gegenereerd en kan worden gepresenteerd via intranet van het KNMI. Zie Oscar van der Velde, 2003 (ref.14). Deze Syntemp heeft betrekking op waarnemingen boven Schiphol.





Figuur 7.  
Route "AMDAR"-vliegtuig

In het Syntemp profiel is zowel AMDAR-data als METAR data verwerkt:

- AMDAR-data; de gemiddelde waarden windsnelheid, windrichting en temperatuur over een periode van de afgelopen 2 uur van (meestal) verschillende vliegtuigen in een  $2,5 \times 1,5$  graden groot gebied over Nederland: 51,5 tot 53,0 graden NB en 3,5 tot 6,0 graden OL. Verticaal is er gemiddeld over 25-hPa stappen (NB verticale resolutie HiRLAM: 50-hPa).
- METAR-data; de gemiddelde waarden temperatuur en dauwpuntstemperatuur, alsmede wolkenbasis hoogten en bedekkingsgraad van de meest recente halfuurlijkse METARs van de stations in het betreffende gebied, en de gemiddelde windsnelheid en -richting uit de laatste halfuurlijkse METAR van Schiphol.

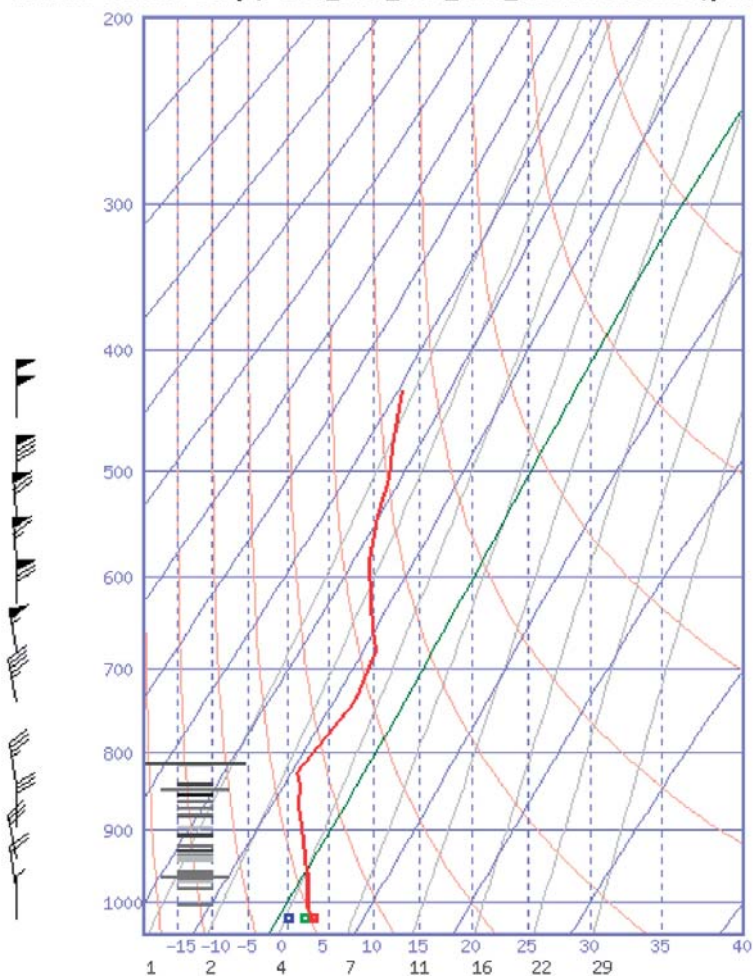
De Syntemp wordt gepresenteerd in een zogeheten Bijvoet diagram. Zie voorbeeld in figuur 8: 1 februari 2005, 08.00 UTC.

De wolkenbasis en -hoeveelheid zijn in het diagram toegevoegd in de vorm van grijze streepjes links: de lengte stelt het aantal stations voor die op die hoogte een wolkenbasis heeft, en de grijstint geeft aan hoe bewolkt het er gemiddeld was. Een korte donkergrijze balk betekent dan dat 1 station overcast gaf. Een lange lichtgrijze betekent dat meerdere stations lichte bedekkingsgraad van wolken op die hoogte meldden.

Een serie van korte balken dicht boven elkaar betekent dat de stations (waarschijnlijk) dezelfde bewolking maar met verschillende wolkenbasishoogten rapporteerden.

Zie: <http://info.knmi.nl/~holleman/syntemp.html>


AMDAR+METAR temp: SYN\_AMS\_PRF\_01H\_200502010800.pTrdf



Figuur 8. Voorbeeld Syntemp  
(1 februari 2005, 08.00 UTC)

## Literatuur

- Gecombineerde weergave van AMDAR en METAR: de eerste stap naar de Synthetische Temp, Oscar van der Velde, Iwan Holleman, Jitze van der Meulen, Sylvia Barlag; KNMI Intern Rapport IR-2003-03, KNMI, De Bilt, 2003, ref.14;
- Eumetnet programma: <http://www.eumetnet.eu.org/contamdar.html>; "The objective of the EUMETNET-AMDAR (E-AMDAR) Programme is to serve EUCOS requirements for additional upper air measurements of wind and temperature and to maximise the efficiency/cost ratio of implementing AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) systems for EUMETNET Participants by reducing duplication in the use of resources and seeking to meet requirements in the most cost-effective manner";
- <http://www.knmi.nl/~meulenvd/eumetnet/E-Amdar/OEvC/index.html>
- Codebeschrijving van de AMDAR, KNMI - Handboek Meteorologische Codes: <http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm> Handboek Meteorologische Codes => Internationale codes => AMDAR (document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000; {-> BIJLAGE}
- WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, Part II, Observing systems, chapter 3, Aircraft observations, WMO, Genève, 1996; (ref.21)
- WMO no.958, Aircraft Meteorological DATA Relay (AMDAR), Reference manual, WMO, Genève, 2003; (ref.22)



### *3.2 onderhoud- en calibratieprocedures*

De onderhoud- en calibratieprocedures zijn vastgelegd in het ISO-9001 kwaliteitssysteem Operationeel Handboek Instrumentele afdeling van INSA, in het bijzonder de procedurebeschrijvingen in par. 2.2.3, Beheersprocedure preventief onderhoud, en par. 2.2.5, Uitvoeren van IJkingen

<http://info.knmi.nl/mi-insa/iso/isoinh.html>

De (her-)ijking van de operationeel gebruikte c.q de te gebruiken instrumenten geschiedt in het IJklaboratorium van het KNMI. (ref.7)



## 4.Procedures

### *4.1 procedures bij uitval*

Uitval van radiosondedata kan optreden in het geval van een defect in de ontvangstapparatuur (bijv. door blikseminslag). In een dergelijke situatie geschiedt herstel direct en conform richtlijnen van de Sector WA.

### *4.2 procedures voor achteraf validatie*

De afdeling WM/OD is verantwoordelijk voor de validiteit van radiosondedata. Daartoe wordt na iedere oplating de ro'data gecontroleerd. De AMDAR-data wordt achteraf gevalideerd door het E-AMDAR Quality Evaluation Centre QEvC, welke gehuisvest is op het KNMI, afdeling WM/RW. (zie ook par.3.1.5). Er vindt (nog) geen systematische achteraf validatie plaats van de bovenluchtdata wind uit de radar, als ook niet van de SODAR-data.

### *4.3 procedures voor inspectie*

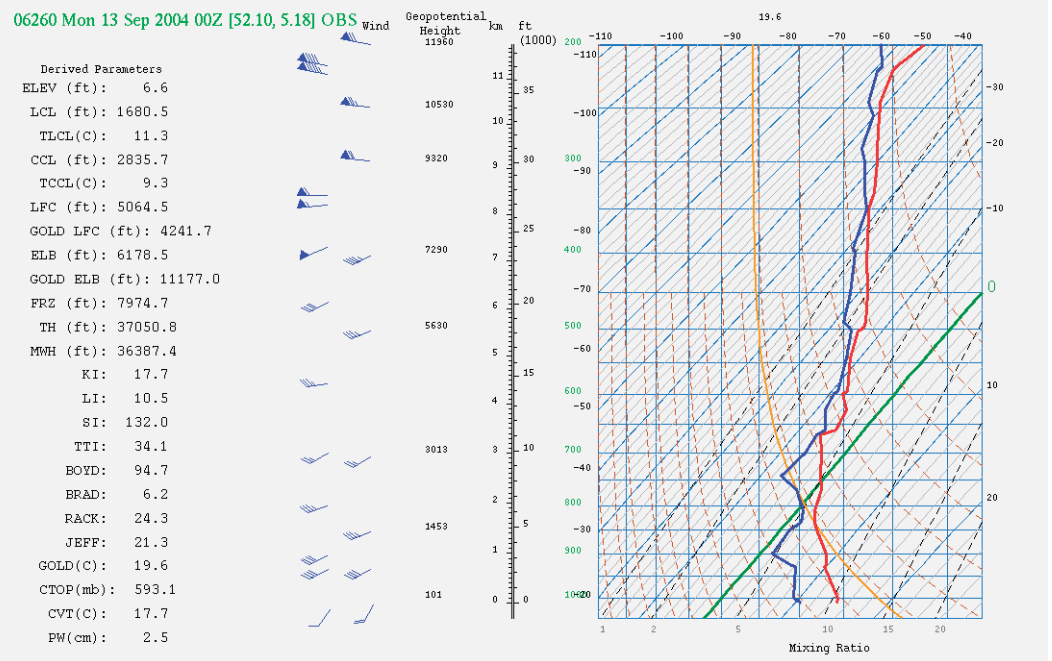
Voor bovenluchtmetingen bestaan (nog) geen specifieke inspectieprocedures. De functionarissen die verantwoordelijk zijn voor de ballonoplatting zijn er alert op dat de plaats van de ballonoplatting voldoet aan de criteria (par.6).



## 5. Herleiding parameters

Op basis van de ontvangen bovenlucht data wordt een aantal atmosfeer-indices berekend, die een cruciale rol (kunnen)spelen bij het formuleren van de weersverwachting. Het gaat veelal om indicatoren ten behoeve van het vaststellen van de mate van dynamiek en stabiliteit van de atmosfeer. Deze bepalen de detectie en kans op buien, onweer, hagel, zware windstoten, front-passages, etc. Bedoelde afgeleide parameters worden visueel gepresenteerd naast de grafische TEMP=plot op de Meteorologische Werkstations van het KNMI (fig.9):

<http://info.knmi.nl/wa/cwk/weer/temp.html>



Figuur 9. Temp-plot en afgeleide parameters

De Centrale Weerkamer van het KNMI gebruikt een aantal indices voor de bepaling van de mate van instabiliteit van de atmosfeer. Op basis van de waarden van deze indices kan onder meer de kans op onweersbuien en (zware) windstoten worden bepaald. De indexen worden berekend uit de gemeten bovenluchtparameters en kunnen op het Meteorologisch Werkstation MWS worden gepresenteerd. Belangrijke indices zijn de volgende:

1. K-index (K)
2. Rackliff index (RACK)
3. Jefferson index (T<sub>j</sub>)
4. Modified Jefferson index (T<sub>j</sub>')
5. Boyden index (I)
6. Lifted index (LI)
7. Totals Totals index (TT)
8. Bradbury index (BRAD of B)
9. Severe Weather Treat index (SWEAT)
10. Showalter index (S)
11. Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN)
12. Ivens index

### 1. K\_index

formule:  $K = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T - TD)_{700}$

- T -> temperatuur,
- TD -> dauwpuntstemperatuur (afgeleid uit temperatuur en relatieve vochtigheid, zie hoofdstuk 4),
- subscript 850 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 850 hPa en 500 hPa.

Gebruik:

- $K > 20$  : grote kans op buien met onweer.
- $K > 40$  : vrijwel 100% kans op onweer.
- $K > 30$  : mogelijkheid tot vorming van Mesoscale Convective Complexes

K-index functioneert het best in het zomerhalfjaar bij convectief, niet-frontaal onweer. (bron: Onweer in Nederland, Landbouwniversiteit Wageningen, 2002, ref.10)

### 2. Rackliff index

formule:  $RACK = \text{Thetaw}_{900} - T_{500}$

- T -> temperatuur,
- Thetaw -> potentiële natteboltemperatuur,
- subscript 900 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 900 hPa en 500 hPa.

Gebruik:

- $RACK > 25$  : een enkele bui
- $RACK = / > 29$  : buien met onweer mogelijk
- $RACK > 30$  : onweer waarschijnlijk

Vooral geschikt voor convectief massa-onweer. In de praktijk voldoet  $\text{Thetaw}_{850}$  ook goed.

### 3. Jefferson index

formule:  $T_j = 1,6 \text{ Thetaw}_{900} - T_{500} - II$

- T -> temperatuur,
- Thetaw -> potentiële natteboltemperatuur,
- subscript 900 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 900 hPa en 500 hPa.

Gebruik:

- $T_j > 26$  : onweer waarschijnlijk
- $T_j > 30$  : significante buien met onweer

Index vooral geschikt voor convectief massa-onweer.

### 4. Modified Jefferson index

formule:  $T_j' = 1,6 \times \text{Thetaw}_{900} - 0,5 \times D_{700} - II$

- D -> dauwpuntsdepressie (afgeleid uit temperatuur en relatieve vochtigheid, zie hoofdstuk 4),
- Thetaw -> potentiële natteboltemperatuur,
- subscript 900 en 700: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 900 hPa en 700 hPa.



Gebruik:

- $T_j > 27$  : onweer waarschijnlijk
- $T_j > 30$  : significante buien met onweer

Index vooral geschikt voor convectief massa-onweer.

#### 5. Boyden index

formule:  $I = (Z_{700} - Z_{1000}) \cdot T_{700} - 200$

- T -> temperatuur,
- Z-verschil: laagdikte (decameter)
- subscripts 1000 en 700: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 1000 hPa en 700 hPa.

Gebruik:

- $I = 94$  : drempelwaarde
- $I > 94$  : kans op onweer
- $I \neq 95$  : onweer waarschijnlijk

Boyden-index functioneert het best bij frontaal- en trogonweer in het winter-halfjaar. (bron: Onweer in Nederland, Landbouwniversiteit Wageningen, 2002, ref.10)

#### 6. Lifted index

formule:  $LI = T_{500} - T_{p_{500}}$

- T -> temperatuur,
- $T_p$  = temperatuur luchtdeeltje\* ,
- subscript 500: gemeten op hoogte met atmosferische druk 500 hPa.

\* Bepaling  $T_{p_{500}}$  (temperatuur luchtdeeltje op 500 hPa):

bepaal in onderste 100 hPa snijpunt van gemiddelde mengverhoudingslijn en droogadiabaat behorende bij de maximumtemperatuur; ga vandaar via nat-adiabaat naar 500 hPa.

Gebruik:

- $LI \leq -6$  : kans op windhozen
- $LI \leq -3$  : zwaar onweer
- $LI < -2$  : kans op zwaar onweer
- $LI < +3$  : buien, mogelijk met onweer ( $LI > +2$  : vrij kleine kans op zwaar onweer)

#### 7. Totals totals index

formule:  $TT = T_{850} - T_{500} + TD_{850} - T_{500} \rightarrow$   
 $TT = T_{850} + TD_{850} - 2 \times T_{500}$

- T: temperatuur,
- TD: dauwpuntstemperatuur (afgeleid uit temperatuur en relatieve vochtigheid, zie hoofdstuk 4),
- subscripts 850 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 850 hPa en 500 hPa.

Gebruik:

- $TT > 44$ : grens van potentieel zwaar onweer.
- $TT > 50$ : kans op vorming van Mesoscale Convective Complexes.
- $TT > 60$ : veel losse onweersbuien, enkele zware complexen mogelijk met tornado's.

Index gebruikt in VS, waarschijnlijk niet geschikt in West-Europa.

#### 8. Bradbury index

formule:  $BRAD = Thetaw_{500} - Thetaw_{850}$

- Thetaw -> potentiële natteboltemperatuur,
- subscripts 850 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 850 hPa en 500 hPa.

Ook wel genoemd Potentiële Onstabyliteitsindex

Gebruik:

- $BRAD = / < -2$  : (zomer) onweer waarschijnlijk
- $BRAD = / < +3$  : (winter) onweer waarschijnlijk
- $BRAD = < +3$  in combinatie met cyclonaal 500-patroon: onweer

Hoe kleiner index, hoe groter onstabyliteit.

#### 9. Severe weather threat index (SWEAT)

Formule voor operationeel gebruik:

$$SWEAT = 12 \times TD_{850} + 20 \times (TT - 49) + 2 \times 1,94 FF_{850} + 1,94 FF_{500} + 125 \times (S + 0,2)$$

Zie: [http://info.knmi.nl/wa/drefbo\\_new/drefbo\\_htm/indices.htm](http://info.knmi.nl/wa/drefbo_new/drefbo_htm/indices.htm)

- TT : Totals totals index (zie boven),
- TD : dauwpuntstemperatuur (afgeleid uit temperatuur en relatieve vochtigheid, zie hoofdstuk 4),
- FF: gemiddelde windsnelheid (in knopen),
- $S = \sin(DD_{500} - DD_{850})$ ,
- DD: gemiddelde windrichting,
- subscripts 850 en 500: gemeten op hoogten met resp. atmosferische druk 850 hPa en 500 hPa.

1e term = 0 als  $TD_{850} < 0$ ,

2e term = 0 als  $TT < 0$ ,

$S = 0$  als aan één van de volgende voorwaarden niet is voldaan:

- $DD_{850}$  tussen 130 - 250 graden.
- $DD_{500}$  tussen 210 - 310 graden.
- $DD_{500} - DD_{850} > 0$ .
- $FF_{850}$  en  $FF_{500}$  beiden  $> 15$  knopen

Gebruik:

- $SWEAT > 300$ : zware onweersbuien beginnen voor te komen.
- $SWEAT > 400$ : Tornado vorming begint op te treden.

#### 10. Showalter index

formule:  $S = T_{500} - T_p$

- T -> temperatuur,
- $T_p$  = temperatuur luchtdeeltje\* ,
- subscript 500: gemeten op hoogte met atmosferische druk 500 hPa.

\* Bepaling  $T_p$  (temperatuur luchtdeeltje op 850 hPa), bepaal optillingscondensatieniveau voor deeltje op 850 hPa (temperatuur in dat punt =  $T_p$ ). Ga vandaar nat-adiabatisch omhoog tot snijpunt met 500 hPa (=  $T_{500}$ ).

Gebruik:

- $S < +3$  : buien, mogelijk met onweer
- $S < 0$  : onweer waarschijnlijk
- $S = / < -3$  : zware onweersbuien waarschijnlijk
- $S = / < -6$  : kans op windhozen

11. *Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN)*  
CAPE (Convective Available Potential Energy) is een maatstaf voor de maximaal haalbare opwaartse stijgsnelheid van een luchtpakket in het geval dit pakket het niveau van vrije convectie kan bereiken. Hierbij wordt de potentiële energie berekend door verticale integratie in de zone tussen het niveau van vrije convectie (LFC) en het niveau van neutraal drijfvermogen buoyancy (LNB). Op het LFC-niveau wordt de temperatuur van de omgeving lager dan die van het luchtpakket en krijgt het pakket een opwaartse kracht. Op het LNB niveau heeft het pakketje weer dezelfde temperatuur als de omgeving en verdwijnt de opwaartse kracht. De opwaartse kracht is een gevolg van het dichtheidsverschil, d.i. verschil in virtuele temperatuur( $T_v$ )<sup>3</sup>, tussen luchtpakket en omgeving.

$$CAPE = g \int_{LFC}^{LNB} \{ (T_v \text{ deeltje} - T_v \text{ omgeving}) / T_v \text{ omgeving} \} dz$$

De standaard berekening is gebaseerd op de meetgegevens met betrekking tot de mengverhouding en de potentiële temperatuur  $\theta$ . Zie referenties Holton (1992) (ref.15), Holleman (2001) (ref.12) en Van der Velde c.s (2003) (ref.14). Bij omzetting van de potentiële energie in kinetische energie volgt uit CAPE voor de (maximaal haalbare) opwaartse verticale snelheid:

$$W = \sqrt{2 * CAPE}$$

De CIN-index (CIN: Convective Inhibition) wordt gebruikt voor de kans van het ontstaan van convectie. Feitelijk wordt de barrière voor het ontstaan van convectie berekend, voor de uitkomst waarvan een min-teken wordt geplaatst:

$$CIN = -g \int_{LCL}^{LFC} \{ (T_v \text{ deeltje} - T_v \text{ omgeving}) / T_v \text{ omgeving} \} dz$$

LCL: lifting condensation level (d.i. de hoogte in ft. tot waar een luchtpakket door externe invloed moet worden opgetild om qua waterdamp verzadigd te raken)

#### 12. *Ivens index*

De methode Ivens wordt operationeel gebruikt om de kans op windstoten en de grootte ervan te berekenen. Deze methode heeft een belangrijke functie in het kader van de weersverwachting (nowcasting) en kan zowel gebruik maken van (grond – en bovenlucht-) waarnemingen als van modelgegevens. De formule is ontwikkeld op basis van 2 multiple regression vergelijkingen die afgeleid zijn uit een groot aantal cases in de periode 1980 – 1983.

<sup>3</sup> De virtuele temperatuur  $T_v$  van een hoeveelheid lucht plus waterdamp is de theoretische temperatuur van geheel droge lucht met dezelfde druk en dichtheid als de gemengde hoeveelheid vochtige lucht, benaderingsformule:  $T_v \approx \{1+0,61w\} * T$  (T: gemeten temperatuur, w: mengverhouding in kg/ kg.)

De 2 vergelijkingen voor de bepaling van de maximale windsnelheid (windstoot)  $F_x$  (m/s) zijn:

- Als  $T_x - \theta_{w850} < 9$  °C:

$$F_x = 7,66 + 0,653 (\theta_{w850} - \theta_{w500}) + 0,976 U_{850}$$

- Als  $T_x - \theta_{w850} \geq 9$  °C:

$$F_x = 8,17 + 0,473 (\theta_{w850} - \theta_{w500}) + (0,174 \cdot U_{850} + 0,057 \cdot U_{250}) \cdot \sqrt{(T_x - \theta_{w850})}$$

$T_x$  : maximum dagtemperatuur (1,5 meter boven aardoppervlak) (K)

$\theta_{w850}$  : potentiële natteboltemperatuur (K) op hoogte 850 hPa

$\theta_{w500}$  : idem op hoogte 500 hPa

$U_{850}$  : gemiddelde windsnelheid (m/s) op hoogte 850 hPa

$U_{250}$  : idem op hoogte 250 hPa

Informatiebronnen:

- <http://info.knmi.nl/wa/mws/onweer.htm#Kindex>
- [http://info.knmi.nl/wa/drefbo\\_new/drefbo\\_htm/indices.htm](http://info.knmi.nl/wa/drefbo_new/drefbo_htm/indices.htm)

## Literatuur:

- Estimation of the maximum velocity of convective windgusts, I. Holleman, Internal report, KNMI IR-2001-02, KNMI, De Bilt, 2001, ref. 12;
- Naar een statistische aanpak bij het voorspellen van gevaarlijk weer met behulp van gevaarlijk weer indices, Kok, C.J., Westrhenen, R. van, Bruijn, C. de, KNMI memorandum WM-02-05, KNMI, De Bilt, 2001, ref. 13;
- Gecombineerde weergave van AMDAR en METAR: de eerste stap naar de Synthetische Temp, Oscar van der Velde, Iwan Holleman, Jitze van der Meulen, Sylvia Barlag; KNMI Intern Rapport IR-2003-03, KNMI, De Bilt, 2003, ref.14
- An introduction to dynamic meteorology; J.R.Holton; Academic Press, 3rd edition, 1992; ref. 15;
- Forecasting the maximum wind velocity in squalls, R.A.A.M. Ivens, Symp. Mesoscale Analysis and forecasting, ESA, 685–686, 1987, ref. 16


## 6. Opstellingseisen en omgevingscondities

De plaats van de ballonoplatings is gebonden aan de volgende conditie. Er mogen geen obstakels (bomen, gebouwen, electriciteitskabels, masten, enz.) in de nabijheid van de vulhut/lanceerplek zijn die de oplating bij bepaalde windrichting en windsnelheid zouden kunnen verstoren. De vereiste afstand tot dergelijke obstakels is tenminste 5 x de obstakelhoogte. De ballonoplater beoordeelt bij extreme windsnelheden of oplating gelet op eventuele obstakels verantwoord is. Zo nodig zoekt hij/zij, te eigener beoordeling een, onder de gegeven omstandigheden, meer geschikte plek voor de oplating. {zie: WMO no.8, *Guide to meteorological instruments and methods of observations*, 6th edition, Part II, *Observing systems*, chapter 10, *Balloon Techniques*, WMO, Genève, 1996; *ihb par.10.3, handling balloons, ref.11*}



## Referenties

1. WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, (chapter 12, Measurement of upper air pressure, temperature and humidity), WMO, Genève, 1996;
2. WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, (chapter 13, Measurement of upper wind), WMO, Genève, 1996;
3. WMO no.544, Manual on the Global Observing System, WMO, Genève, 1981;
4. WMO no.182, International Meteorological Vocabulary, WMO, Genève, 1992;
5. Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), Nederlands Meetinstituut NMI, Delft, 1994;
6. Basisontwerp Vernieuwing Operationeel Klimatologisch Informatiesysteem VOKIS, KNMI-document, 1992;
7. ISO-9001 kwaliteitsstelsel Operationeel Handboek Instrumentele afdeling van INSA, ihb Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium, A. van Londen, Insa/IO, KNMI, De Bilt, 1994;
8. Doppler radar wind profiles, Iwan Holleman, KNMI Scientific Report WR-2003-02, De Bilt, 2003;
9. On the analysis of single Doppler radar data, P.Waldteufel en H.Corbis, J.Appl. Meteor.,Vol.18, p.532-542, 1979;
10. Onweer in Nederland, Landbouwwuniversiteit Wageningen, 2002;
11. WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, Part II, Observing systems, chapter 10, Balloon Techniques, WMO, Genève, 1996;
12. Estimation of the maximum velocity of convective windgusts, I. Holleman, Internal report, KNMI IR-2001-02, KNMI, De Bilt, 2001;
13. Naar een statistische aanpak bij het voorspellen van gevaarlijk weer met behulp van gevaarlijk weer indices, Kok, C.J., Westrheden, R. van, Bruijn, C. de, KNMI memorandum WM-02-05, KNMI, De Bilt, 2001;
14. Gecombineerde weergave van AMDAR en METAR: de eerste stap naar de Synthetische Temp, Oscar van der Velde, Iwan Holleman, Jitze van der Meulen, Sylvia Barlag; KNMI Intern Rapport IR-2003-03, KNMI, De Bilt, 2003;
15. An introduction to dynamic meteorology; J.R.Holton; Academic Press, 3rd edition, 1992;
16. Forecasting the maximum wind velocity in squalls, R.A.A.M. Ivens, Symp. Mesoscale Analysis and forecasting, ESA, 685-686, 1987;
17. Development of VHF/UHF windprofilers and vertical sounders for use in European observing systems, Rapport, COST 76, p. 7.1.5, SODAR, pag. 274-281, november 2001;
18. SODAR Market research, An investigation into possibilities and options regarding lower-atmosphere wind measurements for Schiphol Airport; H.I. Bloemink; Instrumentation Division; Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI); maart 2004;
19. KNMI - Handboek Meteorologische Codes;  
<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm>  
Handboek Meteorologische Codes => Internationale codes => TEMP  
(document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000;
20. KNMI - Handboek Meteorologische Codes;  
<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm>  
Handboek Meteorologische Codes => Internationale codes => AMDAR  
(document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000;
21. WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, Part II, Observing systems, chapter 3, Aircraft observations, WMO, Genève, 1996;

- 
22. WMO no.958, Aircraft Meteorological DATA Relay (AMDAR), Reference manual, WMO, Genève, 2003;
  23. Precipitation motion by pulse Doppler radar, R.M. Lhermitte and D. Atlas, 9th conference on Radar Meteorology, AMS, p.218-223, 1961;
  24. The determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar, K.A. Browning and R. Wexler; J. Appl. Meteor., vol.7, p.105-113; 1968;
  25. Upper air wind measurements by weather radar, I. Holleman, H. Benschop, and J. van der Meulen, paper WMO Technical Conference TECO-2005, Boekarest, mei 2005;
  26. Quality control and verification of weather radar wind profiles, I. Holleman, J. Atmos. Ocean. Technol., 2005.





SECTIE 10 - 61616 }  
 62626 }  
 ..... } Nationaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 69696 }

**DEEL B**

SECTIE 1 -  $M_i M_j M_k M_l D \dots D^{**} Y Y G G a_4$   
 { Iiiii\*  
 { of  
 {  $99L_a L_a L_a Q_c L_o L_o L_o L_o M M M U_{L_a} U_{L_o}^{***} h_o h_o h_o i_m^{*****}$

SECTIE 5 -  $n_o n_o P_o P_o P_o T_o T_o T_o D_o D_o$   
 $n_i n_i P_i P_i P_i T_i T_i T_i D_i D_i$   
 .....  
 $n_n n_n P_n P_n P_n T_n T_n T_n D_n D_n$

SECTIE 6 - 21212  $n_o n_o P_o P_o P_o d_o d_o d_o d_o$   
 $n_i n_i P_i P_i P_i d_i d_i d_i d_i$   
 .....  
 $n_n n_n P_n P_n P_n d_n d_n d_n d_n$

SECTIE 7 - 31313  $s_r r_a r_a s_a s_a 8 G G g g 9 s_n T_w T_w T_w$

SECTIE 8 - 41414  $N_h C_l h C_m C_h$

SECTIE 9 - 51515 }  
 52525 }  
 ..... } Regionaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 59595 }

SECTIE 10 - 61616 }  
 62626 }  
 ..... } Nationaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 69696 }

**DEEL C**

SECTIE 1 -  $M_i M_j M_k M_l D \dots D^{**} Y Y G G I_d$   
 { Iiiii\*  
 { of  
 {  $99L_a L_a L_a Q_c L_o L_o L_o L_o M M M U_{L_a} U_{L_o}^{***} h_o h_o h_o i_m^{*****}$

SECTIE 2 -  $P_i P_i h_i h_i h_i T_i T_i T_i D_i D_i d_i d_i d_i d_i$   
 .....  
 $P_n P_n h_n h_n h_n T_n T_n T_n D_n D_n d_n d_n d_n d_n$

SECTIE 3 - 88P<sub>i</sub>P<sub>i</sub>P<sub>i</sub> T<sub>i</sub>T<sub>i</sub>T<sub>i</sub>D<sub>i</sub>D<sub>i</sub> d<sub>i</sub>d<sub>i</sub>d<sub>i</sub>d<sub>i</sub>  
 of  
 88999

SECTIE 4 - 77P<sub>m</sub>P<sub>m</sub>P<sub>m</sub> }  
 of } d<sub>m</sub>d<sub>m</sub>f<sub>m</sub>f<sub>m</sub>f<sub>m</sub> (4v<sub>b</sub>v<sub>b</sub>v<sub>a</sub>v<sub>a</sub>)  
 66P<sub>m</sub>P<sub>m</sub>P<sub>m</sub> }  
 of  
 77999

SECTIE 7 - 3I3I3 s<sub>r</sub>r<sub>a</sub>r<sub>a</sub>s<sub>a</sub>s<sub>a</sub> 8GGgg 9s<sub>n</sub>T<sub>w</sub>T<sub>w</sub>T<sub>w</sub>

SECTIE 9 - 5I5I5 }  
 52525 }  
 ..... } Regionaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 59595 }

SECTIE 10 - 6I6I6 }  
 62626 }  
 ..... } Nationaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 69696 }

**DEEL D**

SECTIE 1 - M<sub>i</sub>M<sub>i</sub>M<sub>j</sub>M<sub>j</sub> D....D\*\* YGGG/

{ Iiii\*  
 { of  
 { 99L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>L<sub>a</sub> Q<sub>c</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub> MMMU<sub>La</sub>U<sub>Lo</sub>\*\*\* h<sub>o</sub>h<sub>o</sub>h<sub>o</sub>i<sub>m</sub>\*\*\*\*\*

SECTIE 5 - n<sub>i</sub>n<sub>i</sub>P<sub>i</sub>P<sub>i</sub>P<sub>i</sub> T<sub>i</sub>T<sub>i</sub>T<sub>ai</sub>D<sub>i</sub>D<sub>i</sub>  
 .....  
 n<sub>n</sub>n<sub>n</sub>P<sub>n</sub>P<sub>n</sub>P<sub>n</sub> T<sub>n</sub>T<sub>n</sub>T<sub>an</sub>D<sub>n</sub>D<sub>n</sub>

SECTIE 6 - 2I2I2 n<sub>i</sub>n<sub>i</sub>P<sub>i</sub>P<sub>i</sub>P<sub>i</sub> d<sub>i</sub>d<sub>i</sub>f<sub>i</sub>f<sub>i</sub>f<sub>i</sub>  
 .....  
 n<sub>n</sub>n<sub>n</sub>P<sub>n</sub>P<sub>n</sub>P<sub>n</sub> d<sub>n</sub>d<sub>n</sub>f<sub>n</sub>f<sub>n</sub>f<sub>n</sub>

SECTIE 7 - 3I3I3 s<sub>r</sub>r<sub>a</sub>r<sub>a</sub>s<sub>a</sub>s<sub>a</sub> 8GGgg 9s<sub>n</sub>T<sub>w</sub>T<sub>w</sub>T<sub>w</sub>

SECTIE 9 - 5I5I5 }  
 52525 }  
 ..... } Regionaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 59595 }

SECTIE 10 - 6I6I6 }  
 62626 }  
 ..... } Nationaal te ontwikkelen codegroepen \*\*\*\*\*  
 69696 }

NOOT: \* : Wordt gebruikt in FM 35-IX  
 \*\* : Wordt gebruikt in FM 36-IX en FM 38-IX  
 \*\*\* : Wordt gebruikt in FM 36-IX, FM 37-VII en FM 38-IX  
 \*\*\*\* : Wordt gebruikt in FM 38-IX  
 \*\*\*\*\* : De kencijfergroepen 55555 en 66666 in de secties 9 en 10 worden niet gebruikt



Beschrijving CODE INDELING PER SECTIE en INTERNATIONALE CODE  
TABELLEN TEMP CODES

<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm>

Handboek Meteorologische Codes => Internationale codes => TEMP (document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000.

# Bijlage II: AMDAR-code

FM 42-IX AMDAR - Vliegtuigrapport, Aircraft Meteorological DATA Relay

## CODE INDELING PER SECTIE

SECTIE 1 - Codenaam en datum-tijd

AMDAR YYGG

SECTIE 2 - Vluchtfase, vliegtuigidentificatie, positie, waarnemingstijd, hoogte van het drukvlak, temperaturen, wind, turbulentie en systeemparameters

$i_p i_p I_A \dots I_A L_a L_a L_a L_a L_o L_o L_o L_o B$  YYGGgg  $S_h h_1 h_1 h_1$

$SST_A T_A T_A$   $\begin{cases} SST_d T_d T_d \\ \text{of} \\ UUU \end{cases}$  ddd/fff  $TBB_A S_{s_1} s_2 s_3$

SECTIE 3 - Hoogte van de drukvlakken en verticale gust

Deze sectie wordt opgenomen in AMDAR-rapporten indien het ACARS-systeem in gebruik is.

333  $F_h h_d h_d VG f f f_g$

De gedetailleerde codebeschrijving van de AMDAR maakt deel uit van het KNMI - Handboek Meteorologische Codes:  
<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm> Handboek Meteorologische Codes => Internationale codes => AMDAR (document .doc of .pdf), versie 5.0, P.Y. de Vries, januari 2000;  
Zie aldaar.



# Bijlage III

## Gegevens ballonnen en radiosondes

<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/aerologie/radiosonde.htm>

=> *Aërologische waarnemingen met behulp van een radiosonde*, R.Rothe, KNMI/WM/OD, juli 1998

Ballon type TA200 (200 gram) gemiddelde hoogte 17 kilometer

Ballon type TA350 (350 gram) gemiddelde hoogte 25 kilometer

Ballon type TA1000 (1000 gram) (lente/zomer) gemiddelde hoogte  
32 kilometer

Ballon type TX1200 (1200 gram) (winter en extreme koude) gemiddelde  
hoogte 33 kilometer

Gemiddelde stijgsnelheid 350 meter/min

Vulling: heliumgas

Gewicht:	sonde type RS90-AL	= 220 gram
	sonde type RS80-18LE	= 240 gram (t.b.v. ozonmeting)
	sonde type RS90-AG	= 260 gram
	sonde type RS80-30GE	= 280 gram (t.b.v. ozonmeting)
	ozonsonde ECC A6	= 830 gram

De leveranciers zijn :

De ballonnen TOTEX:

TOTEX CORPORATION, Tokyo, Japan

Leverancier voor Europa,

FLOWTRONIC N.V.

Rue J.H. Cool 19A

B-4840 Welkenraedt, België

Tel. : + 32 (0) 87 89 97 99

Fax.: + 32 (0) 87 89 97 90

Gas:

Hoek Loos B.V.

Havenstraat 1

Postbus 78

3100 AB Schiedam.

Tel. : (010) 246 16 16

Fax. : (010) 246 16 00

Radiosonde Ontvanger + Sondes(radio) RS80\* + Interface (RSAT1):

VAISALA U.A.D OY

Vanha Nurmijarventie 21

01670 Vantaa

Helsinki, Finland

P.O. Box 26

Fin\_00421 Helsinki, Finland

OZONsondes:

Science Pump Corporation

1431 Ferry Ave.

CAMDEN, NJ 08104, U.S.A.

Tel. : + 1 609 963 77 00

Fax. : + 1 609 964 89 77





# Inhoud

## Hoofdstuk 13. Bovenlucht wind

- i. Opmerking 13 - 1





# 13. Bovenlucht wind

## 1. Opmerking

Zie hoofdstuk 12, Bovenlucht waarnemingen temperatuur, vocht en druk  
De huidige bovenlucht waarnemingen zijn altijd een combinatie van temperatuur, vochtigheid, druk én windwaarnemingen. Het is dan ook niet meer zinvol om een duidelijk onderscheid te maken tussen de bovenlucht waarnemingen voor druk, temperatuur en vochtigheid (PTU) en bovenlucht waarnemingen wind (W). Alle informatie over windwaarnemingen in de bovenlucht staat daarom vermeld in hoofdstuk 12 van dit handboek.