

Inhoud

Hoofdstuk 15, Wolken

1. Beschrijving 15-1
 - 1.1 benaming van de basisgrootheid 15-1
 - 1.2 definities, omschrijving van de begrippen 15-1
 - 1.3 eenheden 15-2
 - 1.4 elementcodes 15-3
 2. Operationele eisen 15-7
 - 2.1 bereik 15-7
 - 2.2 waarneemresolutie in berichtgeving 15-7
 - 2.3 vereiste nauwkeurigheid 15-7
 - 2.4 vereiste waarneemfrequentie 15-7
 - 2.5 vereiste dataaanwezigheid per specifieke periode 15-8
 3. Instrumenten en techniek 15-9
 - 3.1 techniek en specificaties 15-9
 - 3.2 onderhoud- en calibratieprocedures 15-12
 4. Procedures 15-13
 - 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen 15-13
 - 4.2 procedures voor achteraf validatie van de bewolking (AUTO-SYNOP) 15-13
 - 4.3 procedures voor inspectie 15-15
 5. Herleiding van parameters 15-17
 - herleiding wolkenparameters (hoogte, bedekking, soorten) uit metingen 15-17
 6. Opstellingseisen en omgevingscondities 15-19
 - 6.1 opstellingseisen en –voorzieningen 15-19
 - 6.2 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen 15-19
- Referenties 15-21

Wolken

1. Beschrijving

1.1 benaming van de basisgrootheid

Benamingen: Bedekking, wolkenbasis

Internationale aanduiding: Cloud amount, cloud base.

Referenties: ref. 8 (WMO-No. 8) en ref. 9 (WMO-No. 407)

1.2 definities, omschrijving van de begrippen

1.2.1 Wolk

Een wolk is een verzameling zeer kleine waterdruppels of ijskristallen of beiden, waarvan de basis boven en los van het aardoppervlak gelegen is. De maximale diameter van de vloeibare waterdeeltjes is in de orde grootte van 200 micron (0,2 mm). Een groter formaat leidt tot neerslag van de druppels (regen, drizzle). Met uitzondering van enkele zeldzame types, zoals lichtende nachtwolken en soms cirrus in de lage stratosfeer, bevinden wolken zich in de troposfeer. Wolken ontstaan onder meer bij verticale luchtbewegingen, zoals bij convectie, opstuwning van lucht bij bergen en heuvels, en bij grootschalige verticale bewegingen onder invloed van frontale systemen. Hierbij worden de condities geschapen die de in de lucht aanwezige waterdamp doet overgaan in de vloeibare of vaste fase.

1.2.2 Bedekking (cloud amount)

Onderscheiden worden de bedekking van de hemel door een specifiek aanwezig wolkentype (partial cloud amount) en de totale bedekking van de hemel door alle aanwezige wolkentypes (total cloud amount). In beide gevallen wordt de mate van bedekking, de zogeheten bedekkingsgraad, geschat (in geval van menselijke waarnemingen) c.q. berekend (in geval van automatische waarnemingen) in okta's. (zie par. 1.3).

1.2.3 Wolkenbasis (cloud base)

De wolkenbasis betreft de laagste zone boven het aardoppervlak waarbij in loodrechte richting naar bovengaand sprake is van een evidente verandering van heldere, doorzichtige lucht naar lucht die gevuld is met waterdruppels of ijskristallen en min of meer ondoorzichtig is. De hoogte van de wolkenbasis is gedefinieerd als de hoogte in meters van genoemde zone boven het grondniveau van het station. In het geval van een meteorologisch luchtvaartstation is dit niveau de officiële hoogte ten opzichte van de MSL-hoogte van het vliegveld. Wolkenhoogte: "cloud height" (WMO-convention, per definition: cloud height = height of cloud base)

1.2.4 Wolkenclassificaties

Diverse classificaties worden onderscheiden. We kennen in de eerste plaats de verdeling in karakteristieke vormen:

- *Typen*: basisonderverdeling van wolken, 3 typen: cirrus, cumulus, stratus;
- *Geslachten* (eng: generation): aanvulling op basisonderverdeling, 10 geslachten: cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus, cumulonimbus; code C;

- *Soorten*: onderverdeling van geslacht naar vorm en structuur, bijv. fractus, congestus, lenticularis, castellanus, etc.;
- *Variëteiten*: kenmerken per geslacht naar toestand (cloud arrangement) en mate van transparantie, bijv. radiatus, undulatus, duplicatus, etc.;
- *Bijzondere vormen en verschijnselen*: bijv. incus, mamma, virga, praecipitatio, arcus, tuba, pileus, velum, pannus, e.a.;
- *Aangroeiingen of ontwikkelingen vanuit de moederwolk*: het gaat om aangroeiingen of ontwikkelingen die (kunnen) leiden tot nieuwe wolken; in de naam vinden we de potentieel nieuwe wolk terug alsmede de naam van de moederwolk (in deze volgorde); indien sprake is van een nieuwe wolk met behoud van de moederwolk dan wordt dit aangegeven met de toevoeging “genitus”, is sprake van een nieuwe wolk onder gelijktijdige verdwijning van (het grootste deel van) de moederwolk dan wordt dit beschreven met de toevoeging “mutatus”. Voorbeelden: stratocumulus cumulogenitus, stratus stratocumulomutatus.

Voorts wordt een classificatie gehanteerd met betrekking tot de wolkenlagen (of niveau of etage): laag, middelbaar en hoog.

- *laag*: 0 – 2100 m (0 – 7000 ft); beschrijving wolkencomplexen in deze laag met code C_L ; lage wolken zijn stratocumulus, stratus, cumulus, cumulonimbus; de twee laatstgenoemde wolkengeslachten bereiken vaak ook het middelbare en hoge niveau;
- *middelbaar*: 2100 – 5400 m (7000 – 18000 ft); beschrijving wolkencomplexen in deze laag met code C_M ; middelbare wolken zijn altocumulus, altostratus (deze reikt vaak ook tot hoger niveau), nimbostratus (deze wolken strekken zich gebruikelijk uit tot lager en hoger niveau);
- *hoog*: > 5400 m (> 18000 ft.); beschrijving wolkencomplexen in deze laag met code C_H ; wolken in het hoge niveau zijn cirrus, cirrocumulus, cirrostratus.

Er zijn nog enkele andere classificaties die echter minder relevant zijn en derhalve ook niet worden beschreven.

Referenties met betrekking tot classificatie schema's van de codes C , C_L , C_M , C_H : ref. 5, 6, 8 en (foto's)9; ihb ref. 5: <http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm> -> document SYNOP-VIS

1.3 eenheden

De gebruikte eenheden zijn conform het internationale stelsel van eenheden (SI) (ref.10):

- wolkenhoogte: meter of voet*;
- bedekkingsgraad: okta (d.i. een achtste deel van de hemelkoepel gezien vanuit het waarneempunt).

* in luchtvaartmeteorologische toepassingen wordt meestal de eenheid “voet” (engels: foot of ft.) gebruikt.

voor verdere details, zie ref. 8 (WMO no.8)

1.4 elementcodes

Referenties:

- Ref.21, World Meteorological Organization WMO 306, Manual on codes; Volume I: International codes, 1995; Volume II--Regional codes and national coding practices, 1998;
<http://www.wmo.int/web/catalogue/New%20HTML/frame/engfil/306.html>
- Ref.5: . Handboek Meteorologische Codes,
<http://info.knmi.nl/wm-ow/algdoc/codebeheer/handboek.htm>

ihb:

SYNOP-AUTO, versie 7.0, november 2003, P.Y.de Vries;

SYNOP-VIS, versie 7.0, november 2003, P.Y.de Vries;

METAR-AUTO, versie 1.0, maart 2004, P.Y.de Vries;

METAR-VIS, versie 7.0, november 2003, P.Y.de Vries;

1.4.1 SYNOP-code

De Nederlandse automatische meteorologische waarnemstations hanteren de volgende auto SYNOP-code voor de beschrijving van de weerelementen:

SECTIE 0	- $M_i M_j M_k M_l YYGG_i III_i$
SECTIE 1	- $i_{Rx} i_{hV} V Nddff \ 1s_n TTT \ 2s_n T_d T_d T_d \ 3P_o P_o P_o \ 4PPPP$ $5appp \ 6RRRt_R \ 7w_a w_a W_{a1} W_{a2} \ 8////$
SECTIE 3	- 333 $1s_n T_x T_x T_x \ 2s_n T_n T_n T_n \ 3/s_n T_g T_g$ $7R_{z4} R_{z4} R_{z4} R_{z4} \ \{8N_s/h_s h_s\}^i \ (i=1,2,3)$ $9S_p S_p S_p S_p$
SECTIE 5	- 555 $2s_n T_n T_n T_n \ 4s_n T_g T_g T_g \ 5S_p S_p S_p S_p$

De SYNOP-code mbt de beschrijving van wolken is hierboven in "bold" aangegeven.

De wolkenelementen die niet gedetecteerd kunnen worden met de wolkenmeter, worden als / (breukstreep) gecodeerd:

- sectie 1: 8//// [corresponderende code SYNOP igv visuele wolkenwaarneming: $8N_h C_L C_M C_H$];
- sectie 3: $\{8N_s/h_s h_s\}^i \ (i=1,2,3)$ [corresponderende code SYNOP igv visuele wolkenwaarneming $\{8N_s Ch_s h_s\}^i \ (i=1,2,3)$]

Toelichting per element:

N: totale bedekkingsgraad van alle wolken;

N_s: hoeveelheid hemelbedekking van een afzonderlijke wolkenlaag of – massa;

N_h: hoeveelheid bedekking van de onderste wolkenlaag **C_L**, indien daar geen wolken zijn hoeveelheid bedekking van middelste laag **C_M**, indien ook daar geen wolken zijn **N_h** = 0; vooralsnog wordt **N_h** als / (breukstreep) gecodeerd omdat detectie nog niet mogelijk is.

N, N_s	Bedekkinggraad (okta)
0	Onbewolkt
1	1/8 of minder, maar niet onbewolkt
2	2/8
3	3/8
4	4/8
5	5/8
6	6/8
7	7/8 of meer, maar niet 8/8
8	8/8
9	Bovenlucht niet te detecteren vanwege mist en/of andere meteorologische verschijnselen
/	Bedekkinggraad niet te bepalen door andere redenen dan mist of andere meteorologische verschijnselen, c.q. geen detectie.

$h_s h_s$: hoogte van de basis van een afzonderlijke wolkenlaag of - massa corresponderend met een bedekkinggraad N_s .

$h_s h_s$	m	ft	$h_s h_s$	m	ft	$h_s h_s$	m	ft
00	<30	<100	26	780	2600	56	1800	6000
01	30	100	27	810	2700	57	2100	7000
02	60	200	28	840	2800	58	2400	8000
03	90	300	29	870	2900	59	2700	9000
04	120	400	30	900	3000	60	3000	10000
05	150	500	31	930	3100	61	3300	11000
06	180	600	32	960	3200	62	3600	12000
07	210	700	33	990	3300	63	3900	13000
08	240	800	34	1020	3400	64	4200	14000
09	270	900	35	1050	3500	65	4500	15000
10	300	1000	36	1080	3600	66	4800	16000
11	330	1100	37	1110	3700	67	5100	17000
12	360	1200	38	1140	3800	68	5400	18000
13	390	1300	39	1170	3900	69	5700	19000
14	420	1400	40	1200	4000	70	6000	20000
15	450	1500	41	1230	4100	71	6300	21000
16	480	1600	42	1260	4200	72	6600	22000
17	510	1700	43	1290	4300	73	6900	23000
18	540	1800	44	1320	4400	74	7200	24000
19	570	1900	45	1350	4500	75	7500	25000
20	600	2000	46	1380	4600	76	7800	26000
21	630	2100	47	1410	4700	77	8100	27000
22	660	2200	48	1440	4800	78	8400	28000
23	690	2300	49	1470	4900	79	8700	29000
24	720	2400	50	1500	5000	80	9000	30000
25	750	2500	(51 t/m 55 worden niet gebruikt)					

Indien de hoogte van de wolkenbasis ligt tussen twee in de bovenstaande tabel gegeven hoogten, wordt het lagere corresponderende codecijfer gegenereerd. (Voorbeeld: hoogte 740 m wordt gecodeerd als 24).



h : hoogte boven het aardoppervlak van de basis der laagst gedetecteerde wolken

h hoogte (m)

0	0	-	50
1	50	-	100
2	100	-	200
3	200	-	300
4	300	-	600
5	600	-	1000
6	1000	-	1500
7	1500	-	2000
8	2000	-	2500
9	2500 meter of meer, c.q. geen wolken		
/	hoogte wolkenbasis onbekend, of basis van de wolken op een niveau lager en bovenkant op een niveau hoger dan dat van het station		

Opmerking: Wanneer de hoogte exact gelijk is aan een waarde aan het einde van een interval, wordt de code van het hogere interval gebruikt: b.v. een hoogte van 600 m wordt gemeld met codecijfer 5.

De code voor **h** wordt ontleend aan de code voor **h_sh_s**. Het proces hierbij is als volgt. Op grond van de meetwaarde (m) van de laagst gedetecteerde wolkenlaag wordt de bijbehorende code **h_sh_s** bepaald. De laagste waarde (m) van de range behorende bij het desbetreffende codegetal **h_sh_s** wordt gebruikt voor het vaststellen van het codegetal **h**. Voorbeeld: meetwaarde van laagste wolkenlaag = 59 meter. In code **hshs** is dit het codegetal **01** (zie tabel). De laagste waarde (m) bij de range behorende bij code getal **01** is 30 meter. Dit is de waarde voor het vaststellen van het code getal **h**. Codegetal **h** wordt dan 0 cf. bovenstaande tabel. De effectieve grenzen behorende bij de code getallen voor **h**, worden vermeld in onderstaande tabel.

Grenzen voor de h-code van de wolkenbasis.

h-code	Gren en (m)	Effectieve gren en (m)
0	0 tot 50	0 tot 60
1	50 tot 100	60 tot 120
2	100 tot 200	120 tot 210
3	200 tot 300	210 tot 300
4	300 tot 600	300 tot 600
5	600 tot 1000	600 tot 1020
6	1000 tot 1500	1020 tot 1500
7	1500 tot 2000	1500 tot 2100
8	2000 tot 2500	2100 tot 2700
9	2500 of meer of geen	2700 of meer of geen

1.4.2 METAR-code

De Nederlandse automatische meteorologische waarnemstations die mede berichten genereren voor de luchtvaart, hanteren de volgende auto METAR-code voor de beschrijving van de weerelementen:

- CCCC YYGGggZ dddff(f)Gf_mf_m(f_m)KT d_nd_nd_nVd_xd_xd_x VVVV

[RD_RD_R/V_RV_RV_RV_Ri] N_sN_sN_sh_sh_sh_s }
 of }
 - of w'w' VVh_sh_sh_s } of CAVOK T'T'/T'_dT'_d
 [RD_RD_R/V_RV_RV_RV_RV_RV_RV_Ri] of }
 SKC }
 of }
 NSC }

- QP_HP_HP_HP_H REw'w' [WS RWYD_RD_R] [D_RD_RE_RC_Re_Re_RB_RB_R]
 of (WTT_sT_s/SS) of
 [WS ALL RWY] [SNOCLO]

Opmerkingen:

Elementen of groepen tussen ronde haakjes () zijn facultatief en zijn al of niet in het rapport opgenomen, afhankelijk van bepaalde omstandigheden of regelingen.

Elementen of groepen tussen blokhaken [] zijn niet van toepassing voor een gesloten luchthaven.

Elementen of groepen die schuin gedrukt zijn, ic CAVOK en NSC, worden niet in de auto METAR gebruikt ivm de beperkingen die het geautomatiseerd waarnemen kent. De codering is nog uitsluitend van toepassing voor METAR-berichten op basis van visuele waarnemingen.

Toelichting per wolkelement:

N_sN_sN_s : Categorie van de bedekkingsgraad, gemeld met een 3-letter afkorting:

SKC	= SKy Clear	: totale bedekkingsgraad is 0/8
FEW	= FEW	: totale bedekkingsgraad is 1/8 - 2/8
SCT	= SCaTtered	: totale bedekkingsgraad is 3/8 - 4/8
BKN	= BroKeN	: totale bedekkingsgraad is 5/8 - 7/8
OVC	= OVerCast	: totale bedekkingsgraad is 8/8

h_sh_sh_s : Hoogte van de basis van een wolkenlaag of –massa, c.q. hoogte van het verticaal zicht VV:

h _s h _s h _s	hoogte (m)	(ft)
000	< 30	< 100
001	030	100
002	060	200
...	...	...
099	2970	9900
100	3000	10000
110	3300	11000
...	...	...
999	29700 en hoger	99000 en hoger

Opmerkingen:

- Indien de hoogte van de wolkenbasis ligt tussen twee in de bovenstaande tabel gegeven hoogten, wordt het lagere corresponderende codecijfer gegenereerd. (Voorbeeld: hoogte 50 m wordt gecodeerd als 001).
- Met de hoogte wordt bedoeld "boven het aardoppervlak", d.i.:
 - a. boven de officiële hoogte van het vliegveld (Aerodrome reference point)
 - b. boven het stationsniveau voor stations anders dan vliegvelden



NSC: Afkorting voor niet significante bewolking (Nil Significant Clouds)

CAVOK : Afkorting ter vervanging van het zicht, het actuele weer en de bewolking (Clouds And Visibility OK)

NB Het is (nog) niet mogelijk de significante wolcentypes als CB en TCU automatisch te classificeren. In de auto METAR worden deze types derhalve niet gerapporteerd.

Referentie:

Specificatie AUTO METAR in gebruik bij KNMI, intern KNMI-document, Versie 3.0, d.d. 24 juli 2003; (info Jos de Kloe) (ref.17)

2. Operationele eisen

2.1 bereik

bedekkingsgraad: 0 – 8/8

hoogte wolkenbasis: < 30 m – 30 km

2.2 waarneemresolutie in berichtgeving

bedekkingsgraad: 1/8

hoogte wolkenbasis: 30 m

2.3 vereiste nauwkeurigheid

meting:

bedekkingsgraad: 1/8

hoogte wolkenbasis: 10 m bij ≤ 100 m en 10 % bij > 100 m

in berichtgeving:

bedekkingsgraad: 1/8

hoogte wolkenbasis: 10 m

Zie ook ref. 8 (WMO-No. 8, annex I.B)

2.4 vereiste waarneemfrequentie

Van de gemeten hoogtes van respectievelijk de eerste, tweede en derde wolkenbasis, resp. C1, C2, C3, alsmede van de lengte van het verticaal zicht (SIAM-code: ZV), worden per 12 seconde de volgende waarden in de betreffende SIAM geregistreerd (eenheid C1, C2, C3: tientallen voet ft; eenheid ZV: meters):

- SAMPLE: 12" - registratie van de laatst gemeten hoogte;
- MINUUT: het rekenkundig gemiddelde van de laatste vijf bovengedefinieerde 12" - registraties (dit is inclusief de laatst geregistreeerde momentane waarde);
- 10GEM: gemiddelde over de afgelopen 10 minuten: deze wordt bepaald door middel van het rekenkundig gemiddelde van de laatste vijftig bovengedefinieerde 12"-registraties (dit is inclusief de laatst geregistreeerde momentane waarde);
- MAX: maximum 12" - registratie over de afgelopen 10 minuten: deze is de hoogste waarde van de laatste vijftig bovengedefinieerde 12"-registraties (dit is inclusief de laatst geregistreeerde momentane waarde);
- MIN: minimum 12" - registratie over de afgelopen 10 minuten: deze is de laagste waarde van de laatste vijftig bovengedefinieerde 12"-registraties (dit is inclusief de laatst geregistreeerde momentane waarde);
- STD: de standaarddeviatie over de afgelopen 10 minuten: deze is de standaarddeviatie in de reeks van de laatste vijftig bovengedefinieerde 12"-registraties (dit is inclusief de laatst geregistreeerde momentane waarde).



Afwezige wolken C₁ c.q. C₂ c.q. C₃ worden aangegeven met hoogte 0. Deze worden in de berekeningen niet meegenomen.
(ref.12)

Het door de Ceilometer Vaisala CT 12-K gegenereerde verticaal extinctieprofiel V₁ wordt in de betreffende XC2-SIAM opgeslagen als een string van 250 karakters die ieder een meetwaarde van het profiel representeren. Hiermee wordt de backscatter per 50 ft. hoogteverschil gegeven: 0, 50, 100, ..., 12450 ft. (ref.19). Deze faciliteit wordt alleen door de meetstations van de Koninklijke Luchtmacht Klu en van Meetnet Noordzee toegepast.

De XC4-SIAM (behorende bij Ceilometer LD40) geeft naast C₁, C₂ en C₃ (zie boven) tevens CX. Dat is de maximaal meetbare hoogte, zoals deze door de LD40 wordt berekend uit het extinctieprofiel (ref.20).

2.5 vereiste dataaanwezigheid per specifieke periode

De operationele berichtgeving SYNOP/ METAR/SPECI met betrekking tot wolken vereist in principe een 100% beschikbaarheid van data.

3. Instrumenten en techniek

3.1 techniek en specificaties

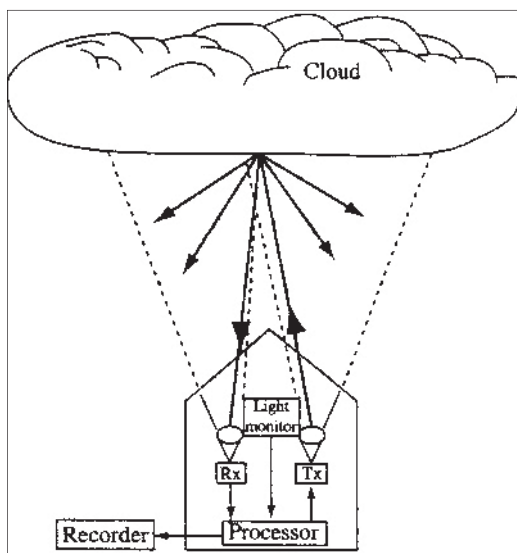
Het door het KNMI operationeel gebruikte instrument voor de meting van de wolkenhoogte is een LD40 wolkenhoogte meter. Fabrikant: Vaisala (voorheen: Impulsphysik).

Meetprincipe

De sensor maakt gebruik van het zgn. LIDAR-principe: LIght Detection And Ranging.

- een lichtbron zendt een verticale laserpuls uit;
- een sensor ontvangt het gereflecteerde cq –verstrooide signaal;
- het tijdsverschil en de intensiteit van het teruggekeerde signaal bepalen respectievelijk de hoogte en de concentratie van de deeltjes (aantal deeltjes per volume);
- de gradiënt van het ontvangen signaal als functie van de hoogte bepaalt of de reflectie geschiedt als gevolg van bewolking, neerslag of andere objecten. In het laatste geval is sprake van een beperkt verticaal zicht.

Zie fig.1



Figuur 1,
Laser ceilometer
(uit: WMO no. 8, ref. 8)

Lichtbron

De lichtbron is een laser die met een frequentie van 6494Hz pulsen uitzendt in het nabije infrarood (855 nm).

Sensor

De detector ontvangt het gereflecteerde cq –verstrooide signaal. Gemeten wordt het tijdsverschil tussen het uitzenden van een puls en de ontvangst van het teruggekaatste c.q. verstrooide licht. Uit dit tijdsverschil kan de hoogte worden afgeleid van het deeltje dat de reflectie veroorzaakte. De detector registreert in tijdsintervallen van 50 nsec, hetgeen correspondeert met hoogteintervallen van 25 voet. De openingshoek van de sensor is ongeveer 1.2 mrad (ca.0,069 booggraden). Daarmee bestrijkt het instrument een gebied met een diameter van ongeveer 12 m op 10 km hoogte. De zender en ontvanger hebben een gescheiden optisch pad. Hierdoor zullen de bundels van de uitgezonden laserstraal en de openingshoek van de detector elkaar pas overlappen boven

een hoogte van ongeveer 300 voet. Een wolkenbasis lager dan 300 voet wordt gedetecteerd doordat als gevolg van meervoudige verstrooiing in de wolk toch een signaal van de laser in de detector komt. Door analyse van het tijdsverschil en de sterkte van het geregistreerde signaal kan dan, ondanks het onbekende traject vanwege de meervoudige reflecties, toch een goede inschatting van de wolkenhoogte worden gemaakt.

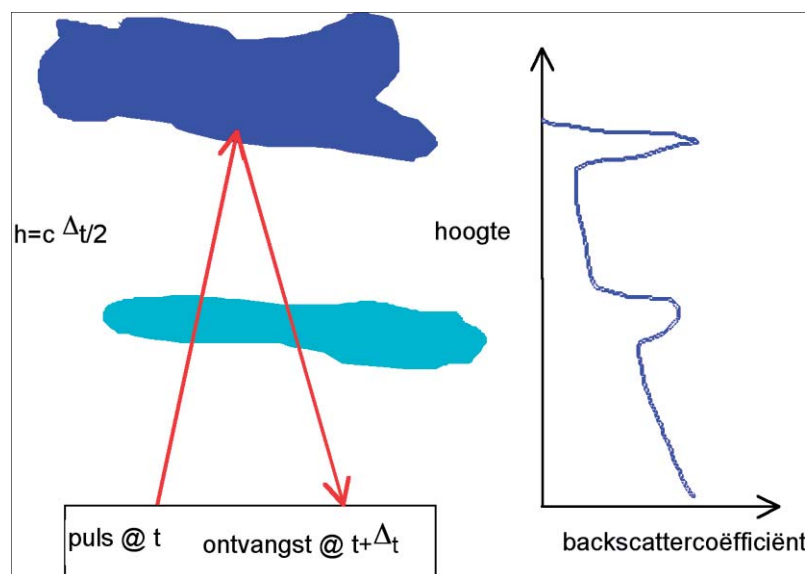
Het verticale bereik van de sensor is van 25 tot en met maximaal 43000 voet met een meetnauwkeurigheid van 25 voet. De sensor geeft uiteraard alleen de bewolking die over de sensor trekt. Het maximale verticale bereik van de sensor zal in aanwezigheid van een optisch dikke wolk of in een troebele atmosfeer minder zijn. Met name bij neerslag zal de sensor een groot verstorend signaal ontvangen. In het algemeen geeft de sensor ook in deze omstandigheden de wolkenbasis correct weer en niet de neerslag. In situaties dat de sensor compleet in de mist staat meldt de sensor bewolking op 25 voet. De sensor registreert het maximale meetbereik bij de meting. In een troebele atmosfeer of bij een dikke wolkenlaag geeft de sensor hiermee aan dat geen informatie beschikbaar is boven het maximale bereik.

Opstelling wolkenhoogtemeter

De wolkenhoogtemeter staat niet verticaal opgesteld, maar helt onder een hoek van 5° naar het noorden. Er is gekozen voor deze opstelling omdat met deze opstelling het signaal van neerslag enigszins wordt onderdrukt in vergelijking met het signaal van bewolking. Zwevende wolkendruppels zijn bolvormig en de terugverstrooiing is daarom gelijk bij een verticale of schuine opstelling van de wolkenhoogtemeter. Vallende neerslag daarentegen is afgeplat. Bij een schuine opstelling zal het terugverstrooide signaal minder zijn dan bij een verticale opstelling omdat het deeltje niet meer symmetrisch is ten opzichte van de verstrooiingsrichting.

Signaalverwerking

De sensor meet voor iedere uitgezonden puls het terugverstrooide vermogen als functie van de tijd c.q. hoogte. Deze zogenaamde backscattercoëfficiënt is een maat voor het aantal en grootte van deeltjes zoals wolkendruppels, reghendruppels en/of aerosol (stof of andere vaste deeltjes) op de betreffende hoogte in de atmosfeer (zie Figuur 2). Omdat het uitgezonden vermogen van één



Figuur 2 Schematische weergave van de werking van een lidar wolkenhoogtemeter.



laserpuls onvoldoende is om bewolking goed te kunnen detecteren, wordt het ontvangen signaal van meerdere pulsen geïntegreerd. Op deze manier wordt de bijdrage van ruis onderdrukt in het voordeel van het werkelijke signaal. Tevens wordt de systematische bijdrage van ruis, die per instrument gekarakteriseerd is door metingen verricht bij afgedekte ontvanger, van de meting afgetrokken. In het aldus verkregen backscatterprofiel, dat elke 15 seconden* door de sensor wordt ververst, wordt vervolgens gezocht naar de signatuur van wolken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de waarde van de backscattercoëfficiënt alsmede de gradiënt ervan om neerslag en aerosol van wolkendruppels te kunnen onderscheiden. Afhankelijk van de hoogte wordt het backscatter signaal geïntegreerd over 15 tot 120 seconden en worden andere criteria voor wolkendetectie gebruikt. Om de detectie van hoge cirrus bewolking mogelijk te maken vindt zelfs integratie over 10 minuten plaats in combinatie met middeling over hoogte-intervallen.

Detectie meerdere wolkenlagen

De sensor kan melding maken van de volgende situaties:

- een onbewolkte situatie;
- 1, 2 of 3 wolkenlagen gedetecteerd;
- er is een obstructie waargenomen, maar deze voldoet niet aan de criteria voor bewolking.

De laatste situatie wordt door de sensor gemeld als onbewolkt, maar met een verticaal zicht. Deze situatie komt soms voor bij hevige neerslag of sneeuw. De sensor kan maximaal 3 wolkenlagen tegelijk detecteren (indien aanwezig en mits de onderliggende wolkenlagen voldoende transparant zijn). Bovendien kunnen hogere lagen zonder optische beperking waargenomen worden, indien gedurende een deel van de middelingstijd tijdelijk geen sprake was van lagere wolkenlagen (bijvoorbeeld omdat deze lagen bestaan uit voortdrijvende losse wolken).

Kwaliteitscontrole meting

De sensor bevat een referentie detector en een referentie laser. Deze worden gebruikt om het vermogen van laser en de gevoeligheid van de detector te meten en zo nodig bij te stellen. Een aparte detector bij de zender registreert eventuele verstrooiing aan het venster van de zender. De mate van verstrooiing bepaalt de mate van vervuiling. Indien het verstrooide signaal boven een bepaalde drempelwaarde uitkomt (50%), wordt een waarschuwing gegenereerd. Daarnaast wordt regelmatig een (verwarmde) luchtstroom over het venster geblazen om neerslag te verwijderen.

Zie figuur 3

Sensoroutput

- a) wolkenbasishoogte van 3 lagen: C1, C2, C3 (eenheid: voet);
- b) verticaal zicht ZV (eenheid: voet);
- c) maximaal verticaal bereik CX (eenheid: voet);
- d) backscatter aan venster van zender WBS (eenheid: %)

De actuele meetwaarden C1, C2, C3, ZV en CX worden geleid naar de XC4 SIAM. De wolkenbases en het bereik worden in deze SIAM opgeslagen in tientallen voet (d.i. door de sensorwaarden te delen door 10 en af te ronden). Het verticaal zicht wordt in de SIAM opgeslagen in meters (d.i. conversie van

*de updating van het backscatterprofiel loopt dus niet synchroon met de dataverwerking in de SIAM, 15" versus 12"; eea hangt samen met de gestandaardiseerde klokfrequentie van de respectievelijke systemen, sensor en SIAM; op de kwaliteit van de dataoutput heeft dit verschil in frequentie geen noemenswaardige invloed

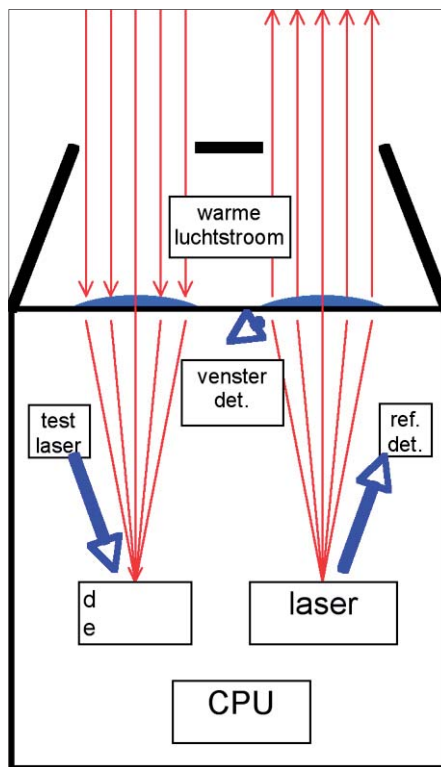


Fig.3 De LD40 wolkenhoogtemeter en een schematische tekening van de belangrijkste onderdelen van de sensor.

de sensor waarden van voet naar meter). De actuele sensorwaarden, die elke 15 seconden ververs worden, worden gemeld als de instantane waarde. Deze waarden zijn gebaseerd op een integratie periode variërende van 15 seconden tot en met 10 minuten.

Figuren 2 en 3 uit Specificaties AVW, Wiel Wauben (mmv Ruud Ivens, Piet de Vries), 13 november 2001

Referenties:

- Specificaties AVW, Wiel Wauben (mmv Ruud Ivens, Piet de Vries), 13 november 2001, met korte beschrijving van methodiek Ceilometer om uit de ontvangen data de waarden van C1, C2, C3 e.a. te bepalen (ref.16); par. 2.2 Wolkenhoogtemeter;
- User manual Laser Ceilograph LD-25/40 explorer/ tropopauser, Impulsphysik (ref.15);
- Duurtest LD40 en FD12P op Meetpost Noordwijk, Wiel Wauben, KNMI Technical Report TR-256, De Bilt, 2003 (ref.4).

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.

Referentie: (ref.14)

4.Procedures

4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen

De operationele berichtgeving SYNOP/ METAR/SPECI met betrekking tot wolken vereist in principe een 100% beschikbaarheid van data (zie par. 2.5 bij dit hoofdstuk). Deze principe voorwaarde impliceert voor ieder operationeel meteorologisch waarnemingsstation een permanente beschikbaarheid van het wolkendetectiesysteem, inclusief datatransport.

Bij uitval van het systeem dient de reparatieprocedure met onmiddellijke ingang te worden gestart. De details zijn beschreven in de KNMI/MSB storingsregeling.

Referentie: Operationeel Handboek Instrumentele Afdeling

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

ihb par.2.2.4, Beheersprocedure correctief onderhoud (ref.18)

4.2 procedures voor achteraf validatie van de bewolking (AUTO-SYNOP)

In het Klimatologische Informatiesysteem KIS worden de AUTO-SYNOP-waarden wolken op dagbasis ingelezen en gearcheeerd. Per station worden per uurwaarden automatisch de volgende controleprocedures toegepast

<i>AUTO-SYNOP-code</i>	<i>KZS-code</i>
h	H
N	N
N_s, h_s, h_{sj}^i	$NS_i, H_i\} (i=1,2 \text{ of } 3)$

N

- N moet $\geq NS_1$ anders verdacht, idem NS_2 , idem NS_3 ,
- Als $wawa = 03$ of $wawa \geq 40$ (uitgezonderd $wawa = 78$) dan moet $N < 0$ anders verdacht,
- Als $NS_1 = 9$ dan moet $N = 9$ anders verdacht,
- Als NS_1 is ontbrekend dan moet $N = 0$ anders verdacht,
- Als $H = 0$ of $1..8$ dan moet $N > 0$ anders verdacht,
- N moet ≤ 9 anders verdacht,
- N moet ≥ 0 anders verdacht.

NS_i

- Als $N > 0$ dan moet $NS_1 \geq 1$ anders verdacht,
- Als $N = 9$ dan moet $NS_1 = 9$ anders verdacht,
- Als $wawa = 03$ of $wawa \geq 40$ (uitgezonderd $wawa = 78$) dan moet $NS_1 \geq 1$ anders verdacht,
- NS_1 moet $\leq N$ anders verdacht,
- NS_1 moet 1 of 2..9 anders verdacht.

H₁

- a. Als H₂ is niet ontbrekend en H₁ is niet ontbrekend, dan moet H₂ > H₁ anders verdacht,
- b. Als H = 0 dan moet H₁ = 0 of 1 anders verdacht,
- c. Als H = 1 dan moet H₁ = 2 of 3 anders verdacht,
- d. Als H = 2 dan moet H₁ = 4 of 5 of 6 anders verdacht,
- e. Als H = 3 dan moet H₁ = 7 of 8 of 9 anders verdacht,
- f. Als H = 4 dan moet H₁ = 10 of 11..19 anders verdacht,
- g. Als H = 5 dan moet H₁ = 20 of 21..33 anders verdacht,
- h. Als H = 6 dan moet H₁ = 34 of 35..49 anders verdacht,
- i. Als H = 7 dan moet H₁ = 50 of 56 anders verdacht,
- j. Als H = 8 dan moet H₁ = 57 of 58 anders verdacht,
- k. Als H = 9 dan moet H₁ > 58 of ontbrekend anders verdacht,
- l. H₁ moet = 0 of 1..50 of 56..89 of ontbrekend anders verdacht,
- m. Als N = 9 dan moet H₁ = 0 of 1..3 anders verdacht,
- n. Als N₁ is niet ontbrekend dan moet H₁ niet ontbrekend zijn anders verdacht.

NS₂

- a. NS₂ moet 3 of 4..8 anders verdacht,
- b. Als NS₁ = 9 of ontbrekend dan moet NS₂ ontbrekend zijn, anders verdacht.

H₂

- a. Als H₁ is niet ontbrekend en H₂ is niet ontbrekend dan moet H₁ < H₂ anders verdacht,
- b. H₂ moet = 1 of 2..50 of 56..89 of ontbrekend anders verdacht,
- c. Als NS₂ is niet ontbrekend dan moet H₂ niet ontbrekend zijn anders verdacht,
- d. Als NS₂ is ontbrekend dan moet H₂ ontbrekend zijn anders verdacht.

NS₃

- a. NS₃ moet 5 of 6..8 of ontbrekend anders verdacht,

H₃

- a. Als H₂ is niet ontbrekend en H₃ is niet ontbrekend dan moet H₃ > H₂ anders verdacht,
- b. H₃ moet = 2 of 3..50 of 56..89 of ontbrekend anders verdacht,
- c. Als NS₃ is niet ontbrekend dan moet H₃ niet ontbrekend zijn anders verdacht,
- d. Als NS₃ is ontbrekend dan moet H₃ ontbrekend zijn anders verdacht.

De daglijsten met de AUTO-SYNOP- waarden van alle stations in Nederland worden op de eerstvolgende werkdag uitgeprint. In deze lijsten zijn de met behulp van bovenstaande controleprocedures gegenereerde verdachte c.q. ontbrekende waarden voorzien van een sterretje(*).

De afdeling WM-OD-BWS controleert de lijsten en kijkt met name naar de "gesterde" waarden. Deze verdachte c.q. ontbrekende waarden worden zo mogelijk vervangen.

De alternatieve waarde wordt onder meer gebaseerd op:

- aangrenzende (correcte) 10-minuten waarden in de tijdreeks,
- vergelijking met waarden van verwante parameters zoals relatieve vochtigheid, straling, weercode e.d.
- waarden van 2 of meer nabije stations,
- satellietfoto's,

- beelden neerslagradar,
- bliksemdetectiesysteem.

Vervanging geschiedt handmatig.

4.3 procedures voor inspectie

Iedere wolkenmeter met een operationele functie in het KNMI-meetnet wordt in principe 2 maal per jaar geïnspecteerd door een stationsinspecteur van WM/OD/BWS. Op de vliegbases van de Koninklijke Luchtmacht vindt deze inspectie uit logistieke overwegingen 1 maal per jaar plaats. Per vliegbasis controleert de staf aldaar tussentijds de meetomstandigheden. De wolkenmeters op Schiphol met een lokale functie, d.i. uitsluitend ten behoeve van de nabije start-/landingsbaan, worden eveneens uit logistieke overwegingen slechts 1 maal per jaar geïnspecteerd door een stationsinspecteur van WM/OD/BWS. De Havendienst van deze luchthaven controleert tussentijds de meetomstandigheden.

De inspectie omvat de volgende controles:

- Een visuele beoordeling of de meetomstandigheden en de omgeving aan de gestelde condities voldoen. Indien dit niet het geval is, kwalificeert de inspecteur de betreffende locatie voor wat betreft de operationele wolkenmetingen met onmiddellijke ingang als onvoldoende. Afhankelijk van de situatie beoordeelt de stationsinspecteur welke correctieve acties ondernomen dienen te worden om een en ander te herstellen conform de operationele eisen. De acties kunnen variëren van een opdracht c.q. verzoek aan de beheerder van het betreffende waarneemterrein tot aanpassing van de terreinsituatie tot de start van een procedure om een nieuwe locatie te zoeken. Bij defecten aan de meetopstelling wordt een opdracht voor herstel aan de afdeling INSA/MSB gestuurd.
- Controle of de ijktermijn van het meetinstrument nog niet is verlopen. Is dit het geval dan wordt de afdeling INSA/MSB hierover geïnformeerd, opdat uitwisseling zal plaatsvinden.

Op verzoek van WA of WM/KD kan een extra tussentijdse inspectie plaatsvinden, indien twijfels bestaan over de kwaliteit en validiteit van de data.

WM/OD/BWS is verantwoordelijk voor de locatiekeuze in het geval van plaatsing van een wolkenmeter op een nieuwe locatie, c.q. verplaatsing van een bestaande wolkenmeter naar een nieuwe locatie. Hiertoe toetst deze afdeling een of meer opties aan de vereiste condities voor opstelling en omgeving. Na het uiteindelijk vaststellen van de geschikte locatie rapporteert BWS hieromtrent aan INSA/MSB, welke afdeling vervolgens actie onderneemt om de (ver-)plaatsing te realiseren.

Indien op een locatie de wolkenmeter vervangen wordt, heeft geen extra inspectie plaats te vinden. Wel dient WM/OD/BWS vooraf door INSA/MSB geïnformeerd te worden door middel van een tijdsplan van de ophanden zijnde vervanging. Binnen 1 week na plaatsing wordt WM/OD/BWS hieromtrent door INSA/MSB bericht, inclusief toezending ijkbewijs.

Van alle inspectiebezoeken wordt een rapport opgesteld door de stationsinspecteur. Dit rapport wordt opgeslagen in het Stations Administratie en Informatie Systeem (SAIS). Een notificatie van het beschikbaar komen van het rapport wordt per e-mail verspreid.

5. Herleiding van parameters

herleiding wolkenparameters (hoogte, bedekking, soorten) uit metingen

De minuut gegevens van de wolkenhoogtemeter van de afgelopen 30 (maximaal 60) minuten worden elke 10 minuten met het wolkenhoogtemeteralgoritme omgezet in wolkenparameters die in de MetNet database moeten worden opgenomen. Het algoritme gebruikt de minuut gegevens van maximaal 3 wolkenlagen C_1 , C_2 en C_3 en van het verticaal zicht VV van de afgelopen $NMAX_1 + NMAX_2$ minuten. De parameters $NMAX_1$ en $NMAX_2$ zijn instelbaar, maar hun som is maximaal 60. De gegevens van de laatste $NMAX_2$ minuten krijgen een dubbel gewicht. Het algoritme corrigeert voor de hoogte van de ceilometer Z_c (m) boven stationshoogte. Bij onbewolkt ($C_1=0$) wordt de sensormelding van verticaal zicht ($VV>0$) als bewolkt geïnterpreteerd. De uitvoer van het algoritme bestaat uit de wolkenbasis hc , de totale bedekkingsgraad nc , en de wolkenlaaghoogtes hci en hoeveelheden nci voor maximaal 3 lagen. De hoogtes zijn gegeven in ft, de bedekkingsgraden in okta's. Indien het algoritme geen of te weinig invoer gegevens heeft dan zijn $hc=hci=-1$ en $nc=nci=-1/8$. In geval van geen bewolking is $nc=0/8$ en $hc=0$ terwijl bij bewolking $nc=1/8, \dots, 8/8$ met $hc>0$ en bij verticaal zicht $nc=9$ met $hc=-1$. De criteria voor verticaal zicht zijn: de gehele tijd alleen VV meldingen onder de 500ft of maar 1 wolkenlaag van 8 okta en basis onder de 500ft en horizontaal zicht minder dan 1000m. In geval van bewolking en verticaal zicht is er ook tenminste 1 wolkenlaag met $nci>0/8$ en $hci>0$. Indien er maar 1 of 2 wolkenlagen gevonden zijn, geldt voor de resterende 2 respectievelijk 1 lagen $nci=0$ en $hci=0$. (ref.3, AII. Ceilometer)

Wolkenalgoritme Larsson-Esbjörn

Het wolkenalgoritme is ontwikkeld door Larsson en Esbjörn (ref. 1, 1995). Het algoritme is geïmplementeerd in het MetNet (zie ref. 3). Per hele minuut worden de 1- minuut data van de Ceilometer getransformeerd in een waarde van de wolken basis hoogte, de waarde van de bedekkingsgraad, en de waarden van bedekkingsgraad en hoogte van maximaal 3 wolkenlagen. Het algoritme gebruikt hierbij de meetresultaten van de Ceilometer met betrekking tot C_1 , C_2 , C_3 en VV gedurende de afgelopen 30 minuten, en gebruikt tevens de 10 minuten gemiddelde waarde van het horizontale zicht. De procedure is als volgt:

- Indien minder dan 75% van de betreffende data van de afgelopen 30 minuten beschikbaar is, wordt de output mbt de wolkenparameters als invalide beschouwd.
- Bij "wolkenvrije" situaties wordt de waarde van VV beschouwd als wolkenbasis C_1 .
- De hoogte van de Ceilometer boven stationsniveau wordt toegevoegd aan de Ceilometer data.
- Data van de Ceilometer van de laatste 10 minuten krijgen dubbel gewicht.
- De desbetreffende Ceilometer data ten behoeve van de bepaling van de wolkenbasishoogte wordt gesorteerd, zodat een verdelingstabel (in okta) te realiseren is.
- Het aantal entries corresponderend met ieder octagebied van de data wordt bepaald waarbij rekening wordt gehouden met het gewicht van deze entries. Hierbij geldt dat er van een bedekking van 0 en 8 okta alleen dan sprake is bij respectievelijk nul wolkenhits en uitsluitend wolkenhits.

- De laagste wolkenhit C_1 is de wolkenbasis, en het totale gewicht van wolkenhits van C_1 bepaalt de totale bedekkingsgraad.
- Er wordt gecontroleerd of er sprake is van wolken op het midden van een oktainterval en indien dit het geval is, wordt de laagste hoogte in het oktainterval gebruikt als de ermee corresponderende wolkenbasis. Hierbij wordt een maximumoverlap van de wolkenlagen verondersteld.
- Een lagere wolkenlaag wordt gecombineerd met de naast hogere laag als zij dicht* genoeg bij elkaar liggen om er 1 laag van te maken met een hoogte behorende bij de laagste laag en de bedekkingsgraad behorende bij de hoogste laag.
- Bovenbeschreven procedure wordt herhaald voor de C_2 en C_3 data van de Ceilometer.
- De resultaten van C_1 , C_2 en C_3 worden gecombineerd. De bedekkingsgraad van een hogere laag dient hierbij tenminste die van de onderliggende laag te zijn.
- De resterende wolkenlagen worden gereduceerd tot maximaal 4 lagen, waarbij de bijdrage van de eerste laag tenminste 1 okta is, van de tweede laag tenminste 3 okta, van de derde laag tenminste 5 okta en van de 4e laag tenminste 7 okta.
- Slechts de eerste 3 wolkenlagen worden verwerkt in de berichtgeving, terwijl een laag boven een laag met 8 okta wordt genegeerd.
- Hemel verduistering (door mist of andere fenomenen) { $N = 9$ in de SYNOP } wordt gerapporteerd als slechts 1 wolkenlaag wordt gedetecteerd met een bedekking van 8 okta en een basishoogte van minder dan 500 ft, er niet 1 C_2 hit is geregistreerd, en het horizontale zicht (MOR) minder dan 1000 meter is.

* wolkenlagen worden apart beschouwd als de onderlinge afstand groter is dan een bepaalde waarde in feet. De betreffende afstand dhf is afhankelijk van de basishoogte h van de onderste laag -> dhf (h):

$h \leq 1000 \rightarrow dhf=100$
 $h \leq 2000 \rightarrow dhf=200$
 $h \leq 3000 \rightarrow dhf=300$
 $h \leq 4000 \rightarrow dhf=400$
 $h \leq 5000 \rightarrow dhf=500$
 $h \leq 15000 \rightarrow dhf=3000$
 $h > 15000 \rightarrow dhf=5000$

Referentie:

Automation of visual observations at KNMI; (II) Comparison of AUTOMATED CLOUD REPORTS WITH ROUTINE VISUAL OBSERVATIONS; Wiel M.F. Wauben, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, The Netherlands, 2002 (ref. 2).

6. Opstellingseisen en omgevingscondities

6.1 opstellingseisen en –voorzieningen

De wolkenmeter is geplaatst op vlak terrein. De opstelling is niet geheel verticaal, maar helt onder een hoek van 5° naar het noorden. Aldus kan het signaal van reflectie door neerslag enigszins worden onderdrukt in vergelijking met het signaal van reflectie door bewolking. De uittredende bundel mag niet onderbroken worden door objecten in de nabijheid van de meetlocatie, zoals boomtakken, kabels, e.d. In de omgeving mogen geen bronnen zijn die door verstuiving het bovenglas van de meter kunnen bevuilen, vgl. zandhopen, e.d. Een en ander ter beoordeling van de inspecteur.

6.2 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen

De condities zijn gerelateerd aan onderstaande functionaliteiten:

- synoptische berichtgeving (SYNOP) van wolkeninformatie (bedekking, hoogte wolkenbases, type bewolking): de wolkenwaarneming/-meting dient representatief te zijn voor de omgeving van het waarnemstation;
- in het geval van een meteorologisch waarnemstation op een vliegveld, berichtgeving aan de luchtvaart van wolkeninformatie (bedekking, hoogte wolkenbases, type bewolking) ter verspreiding buiten de luchthaven (METAR, SPECIAL): de wolkenwaarneming/-meting dient representatief te zijn voor het vliegveldterrein (aerodrome), alsmede voor de onmiddellijke (immediate) omgeving van het vliegveld, alsmede voor de aanvliegroutes (approach area) in verband met de reports for landing;
- in het geval van vliegtuiglandingen op precision approach runways: de wolken waarneming/ -meting (bedekking, hoogte wolkenbases, type bewolking) dient representatief te zijn voor de situatie ter hoogte van de ILS (Instrument Landing System) middle marker site in de aanvliegroute.

Referenties:

- WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, (part I, chapter 15, Observation of clouds; part II, chapter 2, Measurements and observations at aeronautical meteorological stations, par.2.6), WMO, Genève, 1996; (ref.8)
- International Civil Aviation Organisation ICAO: 'Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices', annex III to the convention on International Civil Aviation, 13th edition, ICAO, Montreal, 1998 (ref.22).

Referenties

- 1) Cloud Cover Algorithm, Larsson, B. and Esbjörn, E., SMHI IO-BN 1995-01-11, 1995;
- 2) Automation of visual observations at KNMI; (II) Comparison of AUTOMATED CLOUD REPORTS WITH ROUTINE VISUAL OBSERVATIONS; Wiel M.F. Wauben, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, The Netherlands, 2002;
- 3) RIS-algoritmen, Versie 3.0, ihb par. 2 A11 en 4.1, W.Wauben, KNMI INSA-IO, KNMI, De Bilt, 2001;
- 4) Duurtest LD40 en FD12P op Meetpost Noordwijk, Wiel Wauben, KNMI Technical Report TR-256, De Bilt, 2003;
- 5) Handboek Meteorologische Codes, versie 7.0, P.IJ.de Vries, 2003;
- 6) Synoptische en klimatologische waarnemingen en codes, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module A4/B1, E.Chavanu, KNMI, De Bilt, 1996;
- 7) RIS-algoritmen, W.Wauben, KNMI INSA-IO, KNMI, De Bilt, 2001;
- 8) WMO no.8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, (chapter 15, Observation of clouds), WMO, Genève, 1996;
- 9) WMO no.407, International cloud atlas, Volume II, WMO, Genève, 1987;
- 10) Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), Nederlands Meetinstituut NMI, Delft, 1994;
- 11) Basisontwerp Vernieuwing Operationeel Klimatologisch Informatiesysteem VOKIS, KNMI-document, 1992;
- 12) X-SIAM-specificatie, J.R.Bijma, Insa Document ID-30-015, versie 1.8, KNMI-Insa, KNMI-document, 2001;
- 13) Cloud Cover Algorithm, Larsson, B. and Esbjörn, E., SMHI IO-BN 1995-01-11, 1995;
- 14) ISO-9001 kwaliteitssysteem Operationeel Handboek Instrumentele afdeling van INSA, ihb Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium, A. van Londen, Insa/IO, KNMI, De Bilt, 1994;
- 15) User manual Laser Ceilograph LD-25/40 explorer/ tropopauser, Impulsphysik;
- 16) Specificaties AVW, Wiel Wauben (mmv Ruud Ivens, Piet de Vries), 13 november 2001, met korte beschrijving van methodiek Ceilometer om uit de ontvangen data de waarden van C1, C2, C3 e.a. te bepalen;
- 17) Specificatie AUTO METAR in gebruik bij KNMI, intern KNMI-document, Versie 3.0, d.d. 24 juli 2003;
- 18) ISO-9001 kwaliteitssysteem Operationeel Handboek Instrumentele afdeling van INSA, <http://info.knmi.nl/mi-insa/iso/isoinh.html>; ihb par.2.2.4, Beheersprocedure correctief onderhoud;
- 19) XC2-SIAM Vaisala Ceilometer, J.R.Bijma, Insa Document ID-30-013, versie 2.0 KNMI-Insa, KNMI-document, 1994; <http://info.knmi.nl/mi-insa/techdoc/index.html>;
- 20) XC4-SIAM Impulsphysik LD40 Ceilometer, J.R.Bijma, Insa Document ID-30-045, versie 1.0 KNMI-Insa, KNMI-document, 1999; <http://info.knmi.nl/mi-insa/techdoc/index.html>
- 21) World Meteorological Organization WMO 306, Manual on codes; Volume 1: International codes, WMO, Genève, 1995; Volume II--Regional codes and national coding practices, WMO, Genève, 1998; <http://www.wmo.int/web/catalogue/New%20HTML/frame/engfil/306.html>
- 22) International Civil Aviation Organisation ICAO: 'Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices', annex III to the convention on International Civil Aviation, 13th edition, ICAO, Montreal, 1998.