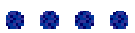


# Inhoud

## Hoofdstuk 2. Temperatuur

1. Beschrijving 2-1
    - 1.1 benaming van de grootheid 2-1
    - 1.2 definitie; omschrijving van het begrip 2-1
    - 1.3 eenheden 2-1
    - 1.4 beschrijving van de variabelen 2-2
    - 1.5 elementcode: 2-4
  2. Operationele eisen 2-5
    - 2.1 bereik 2-5
    - 2.2 waarneemresolutie in verband met de berichtgeving 2-5
    - 2.3 operationeel vereiste nauwkeurigheid 2-5
    - 2.4 vereiste waarneemfrequentie 2-5
    - 2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode 2-7
  3. Instrumenten en techniek 2-9
    - 3.1 techniek en specificaties 2-9
    - 3.2 onderhoud- en kalibratieprocedures 2-9
  4. Procedures 2-11
    - 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen 2-11
    - 4.2 procedures voor achteraf validatie temperatuurwaarden 2-11
    - 4.3 procedures voor inspectie 2-12
  5. Herleiding parameters 2-15
  6. Opstellingseisen en omgevingscondities 2-17
    - 6.1 Opstellingseisen -voorzieningen 2-17
    - 6.2 Conditie m.b.t. omgeving en meetlocatie/representativiteit waarnemingen 2-18
- Referenties 2-19





# 2. Temperatuur

## 1. Beschrijving

### 1.1 benaming van de grootheid

Algemene benaming: Temperatuur

Internationale aanduiding (conform WMO, zie: WMO-No.8.- ref. 1): Temperature

### 1.2 definitie; omschrijving van het begrip

De thermodynamische temperatuur (kortweg: temperatuur) is een maat voor de warmtetoestand van een bepaalde stof of lichaam. Temperatuur kenmerkt zich door het feit dat bij een temperatuurverschil tussen twee aangrenzende stoffen of lichamen, er een warmtestroom zal optreden in de richting van de stof of het lichaam met de laagste temperatuur totdat de temperatuur van beide lichamen gelijk is (zie voor een definitie: WMO no.8., par.2.1.1, ref 1).

Temperatuur geeft een toestand weer en is daarmee een bijzondere grootheid, die niet direct herleidbaar is naar primaire tastbare grootheden zoals massa of lengte. In het algemeen geldt voor de temperatuur van een gas dat deze evenredig is met de gemiddelde kinetische energie van de moleculen. Zie voor verdere achtergrondinformatie over de fysische grootheid *temperatuur* bijvoorbeeld ref. 9. Omdat de temperatuur een toestand aangeeft is de bijbehorende schaal gebaseerd op een definitieafspraken. De internationaal gedefinieerde temperatuurschaal is ondermeer bepaald aan de hand van tripelpunten en stolpunten van elementaire stoffen. Deze schaal wordt regelmatig herzien vanwege steeds nauwkeurigere technologie om faseovergangen te bepalen en met steeds zuiverdere stoffen. Voor een verdere definitie van deze schaal zie onder 1.3, *eenheden*.

### 1.3 eenheden

De blijvend erkende eenheid volgens SI (ref. 6) voor de thermodynamische temperatuur  $T$  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 celciustemperatuur  $t$ . De erkende SI-erkende eenheid daarvoor is de graad Celcius, symbool  $^{\circ}\text{C}$ , die gelijk is aan de kelvin. De celciustemperatuur is gedefinieerd als het verschil  $t = T - T_0$ , waarbij  $T_0 = 273,15$  K (zie ref. 6 en ref. 1, par. 2.1.2.). Dus:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15.$$

De eenheid "graden fahrenheit", symbool  $^{\circ}\text{F}$ , waarvoor geldt  $t_{\text{F}}/^{\circ}\text{F} = 9/5 t/^{\circ}\text{C} + 32$ , wordt in Nederland niet als erkende grootheid gebruikt.

De huidige internationale temperatuurschaal waarvoor  $T$  en  $t$  sinds 1990 zijn gedefinieerd, is volgens ITS-90 (zie ref. 11 en ref. 1, hfd. 2, Annex). Uitgedrukt in de celciustemperatuur geldt voor deze schaal:

$t_{90}$ [vriespunt $\text{H}_2\text{O}$ ]	=	0,000 $^{\circ}\text{C}$
$t_{90}$ [tripelpunt $\text{H}_2\text{O}$ ]	=	0,010 $^{\circ}\text{C}$
$t_{90}$ [kookpunt $\text{H}_2\text{O}$ ]	=	99,974 $^{\circ}\text{C}$

In de meteorologie wordt de grootheid temperatuur gebruikt voor directe metingen van lucht, bodem en water en als afgeleide grootheid, in relatie tot de vochtigheid van de lucht.

De behandeling van (zee)watertemperatuur staat in het hoofdstuk over maritieme waarnemingen en ref. 10, terwijl bodemtemperatuur in het desbetreffende hoofdstuk staat beschreven. Dit hoofdstuk heeft verder alleen betrekking op de luchttemperatuur, te meten boven het aardoppervlak.

#### 1.4 beschrijving van de variabelen

De meteorologie kent meerdere variabelen gebaseerd op de grootte van de temperatuur. Deze zijn te splitsen in een primair gemeten temperatuur en een secundaire, of herleide temperatuur. De primair gemeten temperatuur betreft uitsluitend de instantane luchttemperatuur, gemeten op een vastgestelde hoogte. De andere variabelen zijn bepaald aan de hand van een tijdreeks, onder beïnvloeding van de lucht of op basis van een herleiding, waarbij andere (gemeten) grootheden zijn meegenomen. De variabelen met betrekking tot temperatuur zijn:

- 1 primair gemeten
  - a) luchttemperatuur
2. aan de hand van een tijdreeks herleide temperaturen:
  - a) minimum luchttemperatuur
  - b) maximum luchttemperatuur
3. overige herleide temperaturen
  - a) dauwpunt-temperatuur en rijptemperatuur
  - b) verzadigingtemperatuur
  - c) virtuele temperatuur

- **drogeboltemperatuur luchttemperatuur**

Aanduiding:  $T$  of  $t$  ( $T_{\text{air}}$  of  $t_{\text{air}}$  kan ook), in codes: TTT, BUFR tabel ref. 012 001. De luchttemperatuur wordt bepaald op 150 cm hoogte boven het aardoppervlak. Deze variabele wordt in de praktijk ook wel de “temperatuur” genoemd.

- **maximum temperatuur**

Aanduiding:  $T_{\text{max}}$  of  $t_{\text{max}}$ , in codes:  $T_x T_x T_x$ , BUFR tabel ref. 012 011. De maximum temperatuur is de hoogst bereikte luchttemperatuur (op 150 cm hoogte) in een tijdvak, bijvoorbeeld 6 uur of 12 uur (voor KNMI: tussen 06 en 18 UTC).

- **minimum temperatuur**

Aanduiding:  $T_{\text{min}}$  of  $t_{\text{min}}$ , in codes:  $T_n T_n T_n$ , BUFR tabel ref. 012 012. De minimum temperatuur is de laagst bereikte luchttemperatuur (op 150 cm hoogte) in tijdvak, bijvoorbeeld 6 uur of 12 uur (voor KNMI: tussen 18 en 06 UTC).

- **10 cm temperatuur of luchttemperatuur op 10 cm hoogte**

Aanduiding:  $T_{10}$  of  $t_{10}$   
De 10 cm temperatuur is de actuele luchttemperatuur op 10 cm hoogte boven het aardoppervlak. Deze variabele wordt veelal verward met de ongedefinieerde variabele “grastemperatuur” (zie ook hieronder)

- **minimum 10 cm temperatuur**

Aanduiding:  $T_{10, \text{min}}$  in (uitsluitend nationale) codes:  $T_g T_g T_g$   
De minimum 10 cm temperatuur is de laagst bereikte luchttemperatuur gemeten op 10 cm hoogte in een tijdvak, bijvoorbeeld 6 uur (voor KNMI: tussen 18 en 08 UTC). Deze minimum temperatuur kan in verband worden gebracht met de zgn. “grasminimumtemperatuur”, zoals geformuleerd in WMO-No. 8, Vol. I, par. 2.2.2.2 (zie ref. 1). De grasminimumtemperatuur wordt echter vastgesteld op basis van de gemeten luchttemperatuur ter hoogte van de toppen van de sprietjes van kort gemaaid gras, iets dat voor automatische metingen zeer omslachtig is. In de WMO FM 94 BUFR tabel, Class 12 - Temperature, is overigens sprake van een “ground minimum temperature, past 12 hours”, tabel ref. 012 013.



- **dauwpunt-temperatuur**

Aanduiding:  $T_{\text{dew}}$ , in codes:  $T_d$ ,  $T_d$ ,  $T_d$ , BUFR tabel ref. 0 12 006

De dauwpunt-temperatuur is de temperatuur (op 150 cm hoogte) waartoe de lucht (bij gelijkblijvende overige omstandigheden) moet worden afgekoeld om een volledige verzadiging van de in de lucht aanwezige waterdamp te bereiken en waaronder condensatie gaat optreden. De dauwpunt-temperatuur is onafhankelijk van de luchttemperatuur zelf en wordt bepaald door de dichtheid van de waterdamp in de lucht. Dauwpunt-temperatuur kent een groot bereik tot ver onder  $0^\circ\text{C}$ , terwijl  $t_{\text{dew}} \leq t$ .

Hoofdstuk 4 van dit handboek beschrijft de parameter vochtigheid en het onderlinge verband tussen dauwpunt-temperatuur, temperatuur en relatieve vochtigheid.

- **rijptemperatuur**

Aanduiding:  $T_{\text{ice}}$  of  $t_{\text{ice}}$

De rijptemperatuur is het analogon van de dauwpunt-temperatuur, maar dan voor vaste depositie en alleen gedefinieerd voor waarden onder  $0^\circ\text{C}$ . Beneden deze temperatuur zal rijp ontstaan.

- **andere verzadigingstemperaturen, waaronder de natte bol temperatuur**

Naast de dauwpunt-temperatuur, waarbij afgezien van afkoeling de samenstelling van lucht zelf niet veranderd, kunnen ook verzadigingstemperaturen worden bepaald, waarbij de lucht zelf wel wordt beïnvloed en een thermodynamisch evenwicht ontstaat. De bekendste techniek is de psychrometrie, die wordt gebruikt voor vochtmetingen (ook bekend als natte en droge bol metingen). Hierbij komt lucht in contact met een vochtig lichaam hetgeen resulteert in een verzadigde lucht/vocht mengsel bij een verzadigingstemperatuur. Voor thermodynamische toepassingen is de adiabatische verzadigingstemperatuur (*adiabatic saturation temperature*) de meest voor de hand liggende, vanwege de eenvoudige berekeningsgrondslag ter bepaling van de vochtigheid. In de praktijk is het echter vrijwel ondoenlijk om aan de adiabatische eis te voldoen en zijn er psychrometers ontworpen, elk met hun eigen calibratie diagram (zie ref. 14). Een psychrometer bestaat uit een sensor die de luchttemperatuur meet (ook wel de droge boltemperatuur genoemd) en een sensor, die de temperatuur meet van een bevochtigd en belucht kousje (en daarmee de verzadigingstemperatuur van de lucht grenzend aan dat kousje). Deze temperatuur wordt daarom ook wel de natte bol temperatuur genoemd, in codes voor maritieme waarnemingen aangeduid met  $T_b$ ,  $T_b$ ,  $T_b$ , BUFR table ref. 0 12 005 (voor metingen op 2m hoogte). Omdat er geen goede fundamentele relatie bestaat tussen bevochtiging, verdamping, beluchting, straling of warmtegeleiding, waardoor deze natte bol temperatuur niet herleidbaar is, kan de vochtigheid alleen op basis van kalibraties worden bepaald.

Alleen de natte bol temperatuur gemeten met een Assmann psychrometer is gedefinieerd in internationaal verband (zie ref. 1, WMO-No. 8, Vol. I, Annex 4.B). Deze Assmann psychrometer is niet in gebruik bij het KNMI.

*Nota bene:* het gebruik van de zgn. droge bol temperatuur dient alleen in combinatie met de natte bol temperatuur te worden gebruikt (dus bij psychrometrie).

- **virtuele temperatuur**

De virtuele temperatuur is een afgeleide grootheid, vooral in gebruik ter vereenvoudiging van formules, waarbij vocht een rol speelt. De virtuele temperatuur is gedefinieerd als de temperatuur die een denkbeeldig systeem van droge lucht zou moeten hebben in relatie tot de actuele toestand van de (vochtige) lucht en met dezelfde dichtheid en druk. Deze virtuele temperatuur  $T_v$  wordt

afgeleid via de algemene gaswet en wordt gegeven door:

$$T_v = T(1 + r/\epsilon)/(1 + r),$$

waarbij  $r$  staat voor de vochtige/droge lucht mengverhouding (*mixing ratio*) en  $\epsilon$  voor de verhouding tussen het molecuulgewicht van waterdamp en droge lucht, te weten  $\epsilon = 0,62198$ . De virtuele temperatuur wordt o.a. gebruikt bij de herleiding van luchtdruk naar zeeniveau (zie hoofdstuk 1 van dit handboek). Zie voor nadere details rond de virtuele temperatuur ref. 13, hoofdstuk 4.

- **potentiële temperatuur**

De potentiële temperatuur (van onverzadigde vochtige lucht)  $\theta$  is gedefinieerd als de temperatuur die een hoeveelheid lucht bij druk  $p$  en temperatuur  $T$  zou krijgen indien dat langs adiabatische weg zou worden herleid naar standaard druk ( $p_0 = 1000$  hPa) en bij gelijkblijvende mixing ratio  $r$ .

Zie verder ref. 13, hfd. 4 voor meer details.

### 1.5 elementcode:

De codering met betrekking tot de temperatuurwaarden in de SYNOP, KLIM en METAR is vastgelegd in het KNMI-handboek meteorologische codes (ref.7). Module B1, "Waarnemen", onderdeel van de Elementaire Vakopleiding Meteorologie (zie ref.3, hoofdstuk 7) is hierbij een goede leidraad

Voor de diverse eerdergenoemde temperatuurvariabelen worden onderstaande codes gebruikt en met welke regelmaat.

- **FM 12-X SYNOP / FM 13-X SHIP**

sectie 1 (internationale groepen)

- luchttemperatuur  $T$ :  $1s_n TTT$  ieder uur;
- dauwpunt-temperatuur  $T_{dew}$ :  $2s_n T_d T_d T_d$  ieder uur,

sectie 3 (regionale groepen) en sectie 5 (nationale groepen)

- max. temp.  $T_x$ :  $1s_n T_x T_x T_x$  18 UTC: max. afgelopen 12 uur
- min. temp.  $T_n$ :  $2s_n T_n T_n T_n$  06UTC: min. afgelopen 12 uur;  
08UTC: min. afgelopen 14 uur;
- min. 10cm temp.  $T_{10,min}$ :  $4s_n T_g T_g T_g$  08UTC: min. afgelopen 14 uur;

Voor deze symbolen geldt:

1. Alle temperatuurvariabelen in de SYNOP worden aangeduid in 0,1 °C.
2. Het teken wordt aangegeven met  $s_n$ , dat wil zeggen:  
 $s_n = 0$  als temperatuurwaarde  $\geq 0,0$  °C en  $s_n = 1$  voor temperatuurwaarden  $< 0,0$  °C

Voorbeelden:

$$t_n = -6,2 \text{ °C} \rightarrow 2s_n T_n T_n T_n = 21062$$

$$t = +27,4 \text{ °C} \rightarrow 1s_n TTT = 10274$$

- **NF 01 KLIM (nationale code afspraak)**

sectie 2 (regionale groepen)

- max. temp.  $t_x$ :  $1s_n T_x 6T_x 6T_x 6$  00, 06, 12, 18UTC: max. afg. 6 uur;
- min. temp.  $t_n$ :  $2s_n T_{n6} T_{n6} T_{n6}$  00, 06, 12, 18UTC: min. afg. 6 uur;
- min. 10cm temp.  $t_{10,min}$ :  $4s_n T_{g6} T_{g6} T_{g6}$  00, 06, 12, 18UTC: min. afg. 6 uur;

*Nota bene:* in de KLIM worden ook de uurvakken waarin respectievelijk TX en TN zijn opgetreden vermeld.

Voor de symbolen geldt:

1. Alle temperatuurvariabelen in de KLIM worden aangeduid in 0,1 °C.
2. Het teken wordt aangegeven met  $s_n$  (zie: SYNOP).

Voorbeelden:

$$t_n = -6,2 \text{ °C} \rightarrow 2s_n T_{n6} T_{n6} T_{n6} = 21062$$

$$t_x = +27,4 \text{ °C} \rightarrow 1s_n T_{x6} T_{x6} T_{x6} = 10274$$

- **FM 15-IX Ext. METAR / FM 16-IX Ext. SPECI**

- luchttemperatuur  $t$ , tezamen met
- dauwpunt-temperatuur  $t_{\text{dew}}$ : T'T'/T'd'T'd ieder halfuur;

Voor deze symbolen geldt:

1. zowel de luchttemperatuur als de dauwpunt-temperatuur worden gemeld in hele graden Celsius (dus  $\{t\} = \{t_{\text{dew}}\} = \text{°C}$ ).
2. Voor een negatieve lucht-temperatuur c.q. dauwpunt-temperatuur ( $t, t_{\text{dew}} < 0 \text{ °C}$ ) wordt T'T', resp. T'd'T'd voorafgegaan door de letter M (=minus).

Voorbeelden:

$$T = +27 \text{ °C}, TD = +19 \text{ °C} \rightarrow T'T'/T'd'T'd = 27/19$$

$$T = +14 \text{ °C}, TD = -6 \text{ °C} \rightarrow T'T'/T'd'T'd = 14/M06$$

## 2. Operationele eisen

In deze paragraaf worden de operationele eisen beschreven met betrekking tot het waarnemen van de luchttemperatuur op 150 cm en 10 cm boven het waarneemterrein maaiveld). De operationele eisen met betrekking tot de dauwpunt-temperatuur zijn beschreven in Hoofdstuk 4, Vochtigheid.

### 2.1 bereik

Het operationeel gebied (range) voor de waarnemingen (lucht)temperatuur op 150 cm en 10 cm boven het aardoppervlak is:  $-30 - +40^{\circ}\text{C}$ . Dit betreft zowel voor de puntwaarden, gemiddelden als de extremen.

De WMO-norm is weliswaar  $-60 - +60^{\circ}\text{C}$  (WMO no. 8, ref. 1). Omdat de kans op een temperatuur beneden  $-30^{\circ}\text{C}$  of boven  $+40^{\circ}\text{C}$  in Nederland verwaarloosbaar klein is, is voor nationaal gebruik het bovenvermelde bereik afdoende..

### 2.2 waarneemresolutie in verband met de berichtgeving

In de synoptische meteorologie en de klimatologie is de vereiste resolutie in de waarnemingen van de (lucht)temperatuur op 150 cm en 10 cm hoogte:  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Een en ander is conform WMO (WMO no. 8, ref. 1).

In de berichtgeving voor de luchtvaart, dat wil zeggen via de METAR, is de resolutie van de temperatuur echter in hele graden Celsius, dus  $1^{\circ}\text{C}$ . (conform WMO/ICAO, zie ref. 8).

### 2.3 operationeel vereiste nauwkeurigheid

- De vereiste nauwkeurigheid (onzekerheid) in de gemeten (lucht)temperatuur op 150 cm en 10 cm hoogte is:  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Deze eis is conform WMO (WMO no. 8, hfd. 1, Annex I, zie ref. 1). De extremen (tx, tn) dienen aan dezelfde conditie te voldoen: vereiste nauwkeurigheid (onzekerheid)  $0,1^{\circ}\text{C}$ , ofschoon WMO voorschriften een onzekerheid van  $0,5^{\circ}\text{C}$  toestaan (zie ref. 1).
- De maximaal acceptabele operationele onzekerheid in de (lucht)temperatuur op 150 cm en 10 cm hoogte (inclusief voor maxima en minima) in de synoptische berichtgeving (SYNOF) en voor klimatologische doeleinden (KLIM) is:  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Dit is conform WMO voorschriften ("achievable operational accuracy", zie WMO no. 8, ref. 1).
- De gewenste operationele nauwkeurigheid van de (lucht)temperatuur op 150 cm hoogte ten behoeve van berichtgeving in de luchtvaart-meteorologie (METAR) is:  $1^{\circ}\text{C}$ . (conform WMO/ICAO, ref. 8).


### 2.4 vereiste waarneemfrequentie

#### 1' gemiddelden

Overeenkomstig de richtlijnen van de WMO (ref. 1 en 16) dient de berichtgeving gebaseerd te zijn op 1' gemiddelde waarden. Deze gemiddelden betreffen steeds het rekenkundig gemiddelde van de continue waarnemingen van de afgesloten periode, in dit geval een minuut. Voor data-acquisitie via digitale systemen, zoals bij de SIAM, waarbij hiervoor 5 achtereenvolgende 12" samples worden gebruikt, is deze methode voldoende nauwkeurig. Voor temperatuurmetingen betekent dit dat de soms grote (zeer lokale) natuurlijke temperatuurfluctuaties worden uitgedempt en de meting daarmee representatiever.

In 10-minutendataopslagsystemen, zoals in het AWS en bij RIS, worden iedere 10-minuten de meest recente 1-minuut gemiddelde geregistreerd.





Voorbeeld: de 1'waarde op het tijdstip 1410'00" is het gemiddelde van de momentane waarden op de tijdstippen 1409'12", 1409'24", 1409'36", 1409'48" en 1410'00".

#### 10' waarden

Ofschoon uurlijkse (SYNOP) en halfuurlijkse (METAR) berichtgeving nog wel gebruikelijk is, is er een duidelijke internationale ontwikkeling gaande in het presenteren van gegevens met een 10 minuten resolutie. Om hieraan te voldoen is de generatie van 10'gemiddelden en de bijbehorende standaard deviaties wenselijk. Overigens zijn deze parameters een goed hulpmiddel voor de validatie van de metingen zelf. Voor het bepalen van de standaard deviatie, gemeten met digitale instrumenten, dient de sample frequentie voldoende hoog te zijn. Voor temperaturen zijn 12" samples goed geschikt.

- **extremen: maxima en minima**

Iedere 12 seconden berekent een temperatuur SIAM het 10' maximum en het 10' minimum temperatuur, gemeten op 150 cm c.q. 10 cm hoogte over de afgelopen 10 minuten. Deze extremen zijn gebaseerd op een gemiddelde uit een tijdvak van 1 minuut, dus bij een waarneeminterval van 12 s gebaseerd op 5 aaneengesloten waarnemingen. Voor een 10' extreem is dus sprake van een van de 50 overlappende 1' gemiddelden (zie ook ref. 4).

In 10-minutendataopslagsystemen, zoals in het AWS en bij RIS, wordt per hele 10-minuten het aldus berekende 10' maximum respectievelijk 10' minimum over de afgelopen 10 minuten geregistreerd volgens het schema HH:05, HH:15, HH:25, HH:35, HH:45, HH:55.

- **gemiddelde en standaard deviatie**

De 10' gemiddelde temperatuur en bijbehorende standaard deviatie, gemeten op 150 cm c.q. 10 cm hoogte heeft betrekking op de afgelopen 10 minuten. Dit is het rekenkundig gemiddelde van een voldoende groot aantal metingen, bijvoorbeeld op basis van vijftig 12"-waarden, inbegrepen de momentane temperatuur op het laatste tijdstip van het 10 minuten vak.

In de 10-minutendataopslagsystemen, zoals in het AWS en bij RIS, wordt op ieder heel 10' tijdstip het gemiddelde over de afgelopen 10 minuten periode gepresenteerd volgens het schema HH:05, HH:15, HH:25, HH:35, HH:45, HH:55.

Voorbeeld: de 10' gemiddelde waarde temperatuur op het tijdstip 1315'00" is het gemiddelde van 50 momentane waarden:

1305'12", 1305'24", 1305'36" enz. t.m. 1315'00".

#### uurwaarde (SYNOP)

De temperatuurwaarde op 150 cm hoogte gemiddeld over de afgelopen minuut en bepaald op precies 10 minuten voor het gehele uur (dit is dus de 1 minuut gemiddelde waarde over het tijdvak van 11 minuten voor het gehele uur tot precies 10 minuten voor het gehele uur) wordt gebruikt voor het bepalen van de temperatuurwaarden  $t$  in °C (code  $IS_n TTT$ ) in de uurlijkse SYNOP. Deze waarneemtijd ligt binnen de periode die (internationaal) gesteld wordt voor het verrichten van de SYNOP waarneming (ca. 15 minuten voor het gehele uur tot uiterlijk 2 minuten voor het gehele uur, zie ook ref. 3).

#### halfuurwaarde temperatuur METAR

Het tijdstip voor het METAR-bericht is precies 5 minuten vóór het gehele uur c.q. precies 5 minuten vóór het halve uur. De temperatuurwaarde  $t$  in de METAR (code T'T) is de 1' gemiddelde temperatuurwaarde op 150 cm hoogte op precies 5 minuten vóór het tijdstip METAR-bericht, dat wil zeggen op precies 10

minuten voor het hele uur c.q. precies 10 minuten voor het halve uur.  
Voorbeeld: T'T' op 10:25 UTC is de 1 minuut gemiddelde temperatuur over de periode 10u19'00" - 10u20'00".

#### **maximum- c.q. minimumwaarden in SYNOP en KLIM**

Op de uren dat SYNOP en/of KLIM vermelding vereisen van de maximum- of de minimumwaarde van de temperatuur op 150 cm c.q. 10 cm hoogte over een bepaalde, gunstig gekozen periode (6 uur, of 12 uur, of 14 uur), wordt dat bepaald op precies 10 minuten voor dat gehele uur. De maximumwaarde voor de SYNOP c.q. KLIM is de hoogste waarde van alle 10' maxima en de minimumwaarde voor de SYNOP c.q. KLIM is de laagste waarde van alle 10' minima.

Voorbeeld: 1snT<sub>x</sub>T<sub>x</sub>T<sub>x</sub> op 18UTC: de hoogste 10' maximumwaarde van de temperatuur op 150 cm over de periode 05u50' tot 17u50' (periode duurt 12 uur, dus de hoogste van 72 10' maxima, dit is feitelijk de hoogst geregistreerde 1' gemiddelde temperatuurwaarde uit 12 x 60 x 5 = 3600 12" registraties over de periode 05u50'12" tot en met 17u50'00").

#### **2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode**

##### **1' gemiddelde en 10' gemiddelde**

Een gemiddelde over 1 minuut of 10 minuten kan worden gebaseerd op beschikbare 12" momentane waarden ("beschikbaar" impliceert geen "////"). Gelet op de aard van de parameter is voor het (operationeel) vaststellen van een 1-minuut- c.q. 10-minutengemiddelde een 100% beschikbaarheid van de 12" meetwaardes in het onderhavige tijdvak niet vereist. In het SIAM-bericht dient wel het percentage afwezige 12" momentane waarden te worden vermeld (ref.4). Indien in het geheel geen meetwaarde beschikbaar is wordt een 1' gemiddelde c.q. 10' gemiddelde waarde als "ontbrekend" beschouwd.

##### **10' maximum en 10' minimum**

Voor het vaststellen van een 10-minuten maximum, c.q. minimum is het niet noodzakelijk dat alle 50 onderhavige en overlappende 1' gemiddelden beschikbaar zijn. Wel is vereist dat in deze 10 minutenperiode tenminste voor alle aansluitende 1-minuutvakken een 1' gemiddelde is vastgesteld. Is niet aan deze eis voldaan, dan wordt bedoeld 10-minuten maximum, c.q. minimum als "ontbrekend" beschouwd.

##### **max., min. over periode van 6 uur (KLIM) c.q. 12 uur c.q. 14 uur (SYNOP)**

Voor het vaststellen ten behoeve van SYNOP of KLIM van een maximum- c.q. minimumtemperatuur op 1,5 m c.q. 0,1 m hoogte over een bepaalde periode gelden de volgende criteria:

###### **– 6 uur periode:**

Van de 36 onderhavige en aaneensluitende 10-minutenblokken mogen niet meer dan 5 (niet aaneengesloten) blokken of een aaneengesloten blok ontbrekend zijn.

###### **– 12 uur periode:**

Van de 72 onderhavige 10-minutenblokken mogen niet meer dan 11 (niet aaneengesloten) blokken of een aaneengesloten blok ontbrekend zijn.

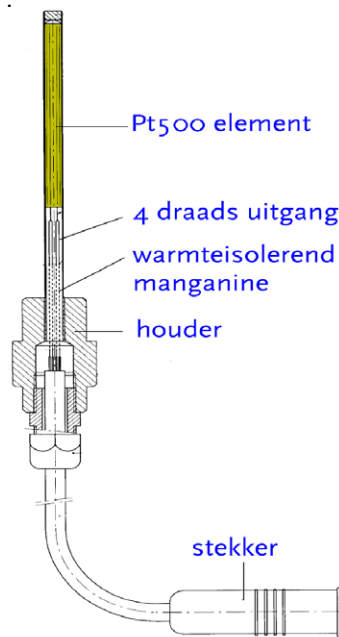
###### **– 14 uur periode:**

Van de 84 onderhavige 10-minutenblokken mogen niet meer dan 12 (niet aaneengesloten) blokken of een aaneengesloten blok ontbrekend zijn.

### 3. Instrumenten en techniek

#### 3.1 techniek en specificaties

Als standaard sensor voor de operationele metingen temperatuur op 150 cm c.q. 10 cm boven het aardoppervlak (maaiveld) gebruikt het KNMI een platina weerstandselement (Pt 500), welke geplaatst is in de top van een zgn. temperatuurmeetnaald van roestvrij staal, zie fig. 1a. Gekozen is voor een vrij hoge weerstandswaarde (500  $\Omega$ ), omdat hierbij de warmtedissipatie gering genoeg is om met de vereiste onzekerheid van  $<0,1$  °C te kunnen meten (met een 100  $\Omega$  Pt element is dit namelijk niet mogelijk). Om ervoor te zorgen dat de warmtelekken van sensor naar meetdraden minimaal is, is de sensor en de verdere bedrading aan elkaar gesloten via manganine bedrading, dat warmte slecht geleid. Gebruik wordt gemaakt van vier-draads meettechniek omdat daarmee significante systematische fouten worden voorkomen, die kunnen optreden door thermo-elektrische effecten, stroomlekken of te grote extra weerstand door lange bedrading. De kwaliteit van het Pt500 element is zodanig dat binnen het gestelde bereik de systematische fout, uitgedrukt in °C, niet groter is dan 0,05 °C. De temperatuurmeetnaald wordt vervolgens geplaatst in een schotelhut die dient voor stralingsafscherming (zie par. 6.1) Dit instrument (sensor, incl. SIAM-transmitter) is kalibreerbaar met een onzekerheid van  $<0,1$  °C. De resolutie (van de SIAM output) is in 0,1 °C. Het bereik is  $-30$  tot  $+40$  °C. (Referentie: ref.4). De instrumentele specificaties zijn dus conform de gestelde operationele eisen




figuur 1a: meetnaald met sensor



figuur 1b: opstelling van de meetnaald in een opengewerkte schotelhut

#### 3.2 onderhoud- en kalibratieprocedures

De meetinstrumenten dienen te voldoen aan de nauwkeurigheidseisen. Hiertoe is periodiek onderhoud nodig, waarbij instrumenten door middel van calibratie en justering op door ervaring bepaalde intervallen worden getoetst of aan de gestelde eisen is voldaan. Voor elk interval wordt een calibratiecertificaat vastgesteld, waarbij de referentie meetwaarden volledig herleidbaar zijn naar een door de RvA/NKO erkende standaard. De instrumentele afdeling van



het KNMI INSA is verantwoordelijk voor deze procedures die vastgelegd zijn in de kalibratie procedures van het KNMI-ijklaboratorium. Op zich voldoen deze procedures aan het kwaliteitshandboek van INSA, dat is erkend volgens aan ISO 9001 (ref. 5). Aan de Europese norm voor kalibratie en testlaboratoria, EN 45001, of aan enige NKO certificering wordt (nog) niet voldaan.

## 4. Procedures

### 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen

Aanvulling bij uitval van automatisch gegenereerde gegevens in SYNOP en METAR vindt niet plaats. Op bemande stations waar back-up apparatuur aanwezig is, kunnen eventueel de waarnemingen van deze apparaten als alternatief gebruikt worden (alleen voor lokaal gebruik, niet voor in de SYNOP of METAR). Alleen bij uitzonderingssituaties kan hiervan worden afgeweken.

### 4.2 procedures voor achteraf validatie temperatuurwaarden

Het Klimatologische Informatiesysteem (KIS) van het KNMI bevat gearcheiverde waarnemingen, namelijk:

-	uurwaarden temp. t uit de SYNOP, aangeduid met:	T
-	6-uurwaarden max.temp. $t_{\max}$ uit de KLIM:	TX6
-	het uurvak waarin deze max.temp. is opgetreden (uit de KLIM):	HTX6
-	6-uurwaarden min.temp. $t_{\min}$ uit de KLIM:	TN6
-	het uurvak waarin deze min.temp. is opgetreden (uit de KLIM):	HTN6
-	6-uurwaarden min. 10 cm temperatuur $t_{g, \min}$ uit de KLIM:	TG6

De gegevens betreffen de gearcheiverde SYNOP-en KLIM-waarnemingen van de land-en kuststations, alsmede van de stations van het Meetnet Noordzee. De datainvoer in het KIS-systeem geschiedt op dagbasis en betreft de uurlijkse c.q. 6-uurlijkse waarden van het afgelopen etmaal (uurvakken HH = 00 t/m. 23). Alle nieuw in KIS ingevoerde waarden worden onderworpen aan automatische controleprocedures die in het systeem ingeprogrammeerd zijn. Het gaat om de volgende procedures per station:

#### • T

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- $TX6 \geq T \geq TN6$
- indien  $WW = 56, 57, 66, 67, 70, \dots, 79, 83, \dots, 87$  of 88 dan:  $T \leq 5,0^\circ C$
- $T[H] - ((T[H+2] + T[H-2])/6 + (T[H+1] + T[H-1])/3) \leq 2,0^\circ C$
- $-30,0^\circ C \leq T \leq 40,0^\circ C$

#### • TX6

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- $TX6[H] \geq T[H]$ , idem  $H-1$  t/m  $H-6$
- $TX6 > TG6$
- $TX6 > TN6$
- $-30,0^\circ C < TX6 < 40,0^\circ C$

#### • HTX6

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- Als uur van waarneming = 06 dan  $HTX6 = 1, 2, \dots, 6$
- Als uur van waarneming = 12 dan  $HTX6 = 7, 8, \dots, 12$
- Als uur van waarneming = 18 dan  $HTX6 = 13, 14, \dots, 18$
- Als uur van waarneming = 24 dan  $HTX6 = 19, 20, \dots, 24$
- Indien  $T[H-n] \geq TX6$  dan  $HTX6_H \leq H-n$  ( $n=1, 2, 3, 4, 5, 6$ )

Opmerking: als  $H-n = 0$ , dan wordt  $T[H=24$  UTC van de vorige dag] gevalideerd

#### • TN6

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- a)  $TN6 \leq T[H]$ , voor  $H, \dots, H-6$
- b)  $TN6 < TX6$
- c)  $-30,0^\circ\text{C} < TN6 < 40,0^\circ\text{C}$

- **HTN6**

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- a) Als uur van waarneming = 06 UTC dan  $HTN6 = 1, 2, \dots$ , of 6
- b) Als uur van waarneming = 12 UTC dan  $HTN6 = 7, 8, \dots$ , of 12
- c) Als uur van waarneming = 18 UTC dan  $HTN6 = 13, 14, \dots$ , of 18
- d) Als uur van waarneming = 24 dan  $HTN6 = 19, 20, \dots$ , of 24
- e) Als  $T[H-n] \leq TN6$  dan  $HTN6[H] \leq H-n$ ;  $n=1, 2, 3, 4, 5, 6$

Opmerking: als  $H-n = 0$ , dan wordt  $T[H=24 \text{ UTC van de vorige dag}]$  gevalideerd

- **TG6**

Indien niet aan onderstaande eisen is voldaan, dan wordt de waarneming als 'verdacht' aangemerkt:

- a)  $TG6 > TX6$
- b)  $-35,0^\circ\text{C} < TG6 < 40,0^\circ\text{C}$
- c)  $-2,0^\circ\text{C} < (TN6 - TG6) < 7,0^\circ\text{C}$

Zie voor verdere details, ref. 9.

De Klimatologische Dienst (KD) van het KNMI is verantwoordelijk voor de uiteindelijke validiteit van de temperatuurwaarden in KIS. De KD beoordeelt daartoe in principe ieder nieuwe waarde, daarbij geholpen door de output van de bovenbeschreven testprocedures. Een ontbrekende waarde, of een waarde die overduidelijk onjuist is, wordt zo mogelijk vervangen op grond van door de KD vastgelegde procedures. De alternatieve waarde kan worden gebaseerd op onder meer:

- lineaire interpolatie van aangrenzende (correcte) waarden in de tijdreeks;
- ruimtelijke interpolatie op grond van synchrone waarden van 2 of meer nabije stations;
- inschatting van de uurwaarde op grond van de tijdreeksen 10-minuten gegevens.

Vervanging geschiedt handmatig, waarbij iedere situatie individueel wordt beoordeeld.


#### 4.3 procedures voor inspectie

Iedere thermometer met operationele functie in het KNMI-waarnemnet wordt gemiddeld 2 maal per jaar geïnspecteerd door een stationsinspecteur van WM/OD. Deze procedure betreft zowel de sensoren op 1,50 m hoogte als de sensoren op 10 cm hoogte. Ook kan een extra tussentijdse inspectie plaatsvinden, indien de validatie van data daartoe aanleiding geeft. Ook de eventueel op bemande stations gebruikte back-up sensoren vallen onder dit inspectie regime. De waarnemers op de betrokken stations worden geacht de onzekerheid van deze hulpmiddelen continu in de gaten te houden.

Bij voorkeur vindt inspectie plaats:

- a) in het geval van plaatsing van een sensor op een nieuw meetstation;
- b) indien op een locatie de sensor vervangen is.

In beide gevallen wordt WM/OD door INSA/MSB geïnformeerd over de ophanden zijnde plaatsing c.q. vervanging. Binnen 1 week na plaatsing c.q. vervanging wordt WM/OW hieromtrent door INSA/MSB bericht, inclusief toezending ijkbevijs, zodat een inspectie kan geschieden.



De inspectie omvat de volgende controles:

- a) Vergelijking van een door de operationele sensor gemeten momentane 12" waarde met de corresponderende en synchrone momentane waarde, zoals gemeten door een referentie thermometer (dit is een voor dit doel conform KNMI-ijkprocedures gekalibreerde Pt 500 thermometer, zie ref.5). Van alle inspectiebezoeken wordt een rapport opgesteld door de stationsinspecteur. dit rapport wordt KNMI breed verspreid, volgens een lijst van betrokken medewerkers, opgesteld door WM/OD/SB. Op grond van geconstateerde afwijkingen (absolute afwijking  $\geq 0,2$  °C) informeert de inspecteur INSA/MSB en treedt in overleg, c.q. maakt afspraken voor eventuele correctieve acties. Deze afspraken worden vastgelegd en de inspecteur ziet toe op het verloop van deze afspraken
- b) Controle of de ijktermijn van het meetinstrument nog niet is verlopen. Is dit wel het geval dan wordt INSA/MSB hierover geïnformeerd, opdat uitwisseling zal plaatsvinden.
- c) Een visuele beoordeling of de meetomstandigheden en de omgeving aan de gestelde condities voldoen (zie par. 6.2). Ook hierover wordt gerapporteerd in het inspectierapport. 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 nieuw waarneemterrein te zoeken. Bij defecten aan de meetopstelling wordt een opdracht voor herstel aan INSA/MSB gestuurd.





## 5. Herleiding parameters

Voor de bepaling of herleiding van een aantal parameters wordt gebruik gemaakt van temperatuurwaarden:

- a) referentie gewasverdamping volgens Makkink o.a. uit daggemiddelde temperatuur. Voor een herleiding, zie hoofdstuk 10
- b) maximale dampspanning (uit o.a. de temperatuur op 1,50 m hoogte) ten behoeve van de berekening van de dauwpunt-temperatuur (uit relatieve vochtigheid en temperatuur). Zie de herleiding in hoofdstuk 4
- c) herleiding luchtdruk naar ander niveau, bijv. msl. Zie de herleiding in hoofdstuk 3
- d) vaststellen stabiliteit atmosfeer uit  $t$ ,  $t_{10}$  en zo mogelijk de 10' standaard deviatie.
- e) 'natte bol' temperatuur (uit vochtigheid en luchttemperatuur) t.b.v. een algoritme voor het vaststellen van onderkoelde neerslag (*present weather*)



## 6. Opstellingseisen en omgevingscondities

### 6.1 Opstellingseisen -voorzieningen

#### **luchttemperatuur 1,50 m hoogte**

De sensoren voor de meting van de temperatuur dienen volgens de WMO op een hoogte tussen 1.25 en 2.00 meter boven vlak terrein gesitueerd te zijn (zie ref.1). Het KNMI hanteert als standaardhoogte: 150 cm. Het terrein waarboven gemeten wordt dient bedekt te zijn met kort gemaaid gras, eventuele sneeuw hoeft niet te worden verwijderd. Het meetelement mag niet significant worden beïnvloed door zonlicht, straling en weersverschijnselen, zoals neerslag, dauw, rijp en wind. Hiertoe is het meetelement geplaatst in stralingsafschermende schotelhut. Deze hut is aan de buitenkant wit en van binnen zwart, zodat minimale stralingsinvloed bestaat. De ruimte tussen de schotels is zodanig dat zonlicht en warmtestraling geen invloed heeft op het meetelement, maar de ruimte in de hut wel op een natuurlijke wijze goed kan ventileren. Zie voor gedetailleerde informatie over thermometer hutten, ref. 16.



figuur 2a, opstelling met de schotelhut op een landstation (De Bilt)



figuur 2b, opstelling met de schotelhut op een zeestation (Meetpost Noordwijk)

#### **luchttemperatuur 10 cm hoogte**

De sensoren voor de meting van de luchttemperatuur op 10 cm hoogte dienen volgens hetzelfde principe als bij de meting op 150 cm geplaatst te zijn. De sensor wordt opgesteld in een speciale stralingsafscherming, mede vanwege het feit dat zeer dicht bij het aardoppervlak gemeten wordt.

Het terrein rond de meetapparatuur dient bedekt te zijn met zeer kort geschooren gras, maximaal 3 cm hoog. In het geval dat het terrein met sneeuw is bedekt, dient dit terrein met een straal van 50 cm rond de opstelling sneeuwvrij te worden gemaakt.



figuur 3: schotelhut met stralingsafscherming voor 10 cm temperatuur

### 6.2 Conditie m.b.t. omgeving en meetlocatie/representativiteit waarnemingen

In de nabijheid mogen zich geen obstakels als gebouwen en bomen bevinden, die van invloed kunnen zijn op de te meten variabele. Deze kunnen door uitstraling de temperatuur beïnvloeden en aldus de representativiteit van de waarneming aantasten. Bovendien ontstaat als gevolg van dergelijke objecten een soort dalstructuur waarbinnen warme of koude lucht blijft “hangen”. De temperatuur van de lucht in dit “dal” kan zo (sterk) afwijken van de luchttemperatuur in de omgeving.

Concreet gaat het er om dat het omliggende terrein ten aanzien van gewassen, beplantingen en bebouwing rondom het waarneemterrein voldoende vrij is, waarbij op een gebied met een straal:

- a) van 25 m er zich geen gewassen en/of beplanting bevinden die een hoogte van 50 cm te boven gaan
- b) tussen 25 m en 50 m er zich geen gewassen en/of beplanting bevinden met een hoogte tot 1,50 m
- c) van 100 m geen obstakels zoals bomen en struiken
- d) van 400 m geen obstakels zoals schuren of andere gebouwen en bossen; Voor eventuele objecten buiten de straal van 100 m zal de hoogte minder dan 1/10-de van de afstand van het object tot het meetterrein dienen te zijn.

## Referenties

1. World Meteorological Organization, 1996; *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations* (WMO-No. 8, Sixth edition, WMO, Genève, 1996)
2. Meteorologische Instrumenten, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module AII, J.G. van der Vliet, 1993 (KNMI document)
3. Synoptische en klimatologische waarnemingen en codes, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module A4/BI, E.Chavanu, 1996 (KNMI document)
4. X-SIAM-specificatie, J.R.Bijma, KNMI-insa, KNMI-document, Insa Documentnummer ID-30-015, 1998
5. Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium, A. van Londen, Insa/IO, KNMI-document (valt onder ISO 9001)
6. Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), Nederlands Meetinstituut KNMI, 1994
7. KNMI-handboek meteorologische codes, editie 1994
8. International Civil Aviation Organisation (ICAO), july 1999: 'Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices', annex 3 to the convention on International Civil Aviation, 12th edition; dit document is identiek aan World Meteorological Organization, 1995; *Technical regulations, vol. 2* (WMO-No. 49; WMO, Genève, 1998)
9. Basisontwerp Vernieuwing Operationeel Klimatologisch Informatie-systeem VOKIS, 1992, KNMI-document
10. Van Wylen, G.J., and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics* (John Wiley & Sons, New York, 1978)
11. Ferdi van Kuijlen, "Beknopte handleiding voor Waarnemingen op Zee" (KNMI, 2001- in druk).
12. H. Preston-Thomas (Comité International des Poids et Mesures), *The International Temperature Scale of 1990* (Metrologica 27(1989)3-10)
13. Wylie, R.G. and T. Lalas, *Measurements of Air Temperature and Humidity* (WMO-No. 759, Technical Note No. 194, WMO, Genève, 1992)
14. S. Letestu, *International Meteorological Tables* (WMO-No. 188. TP. 94, WMO, Genève, 1966)
15. Wylie, R.S. and Th. Lalas, *Measurements of Temperature and Humidity* (WMO-No. 759 T.N. 194, WMO, Genève, 1991)
16. World Meteorological Organization, *Manual on Codes* (WMO-No. 306; WMO, Genève, 1995)
17. World Meteorological Organization, *The Effect of Thermometer Screen Design on the Observed Temperature* (WMO-No. 315; WMO, Genève, 1971)